



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
MECÁNICA Y CONSTRUCCIÓN

# Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos

*MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL*

**AUTOR:** MARCELO PALACIOS SIEGENTHALER

**TUTORES:** DAVID HERNÁNDEZ FIGUEIRIDO

CARMEN IBÁÑEZ USACH

Abril de 2019



## RESUMEN

El objeto del presente proyecto es estudiar la idoneidad de diferentes diseños de naves industriales de acero a dos aguas a través de un análisis paramétrico en función de las dimensiones de las mismas y desde el punto de vista económico.

En este caso, al estar la tipología de la estructura fijada a naves a dos aguas a base de pórticos en paralelo, lo que se cambiará para generar los diferentes diseños a analizar será el tipo de perfil de acero empleado. En principio, los perfiles que se van a considerar son perfil simple, perfil alveolado (tipo Boyd y tipo Angelina), y perfil en celosía (tipo Pratt, Warren y Warren con montantes).

Con estos diseños, se realizará un modelo base de cada uno para poder variar sobre él las dimensiones de la estructura y poder llevar a cabo el pertinente análisis paramétrico. Las variables de dicho análisis serán la luz de la nave (distancia entre los pilares del pórtico) y la crujía (distancia entre dos pórticos paralelos). Teniendo en cuenta las dimensiones más comunes en edificaciones reales, los rangos de variación de dichas variables se han establecido en los que se muestran a continuación. No obstante, si durante el proceso de estudio otros valores son considerados de interés, estos se añadirán. En principio, estos son los rangos que se proponen:

- luz: 25-60 metros (a intervalos de 5 metros).
- crujía: 4-10 metros (a intervalos de 1 metro).

A partir de las conclusiones extraídas del análisis, y dentro de los límites de este estudio, se pretende establecer ciertas guías de diseño para naves a dos aguas. Dadas las dimensiones de una estructura, estas recomendaciones orientarán en la selección idónea del perfil desde el punto de vista económico.

Este proyecto es continuación de un trabajo presentado previamente donde se evaluaron diferentes diseños, pero donde, sin embargo, se variaba únicamente la luz de la nave. Por tanto, el proyecto que aquí se propone pretende ampliar la casuística del análisis al incorporar una nueva variable que multiplica exponencialmente el número de casos a analizar. Dentro de los límites del análisis, las conclusiones extraídas de este proyecto podrán ser contrastadas con lo observado previamente.

Para el modelado de las estructuras se utilizará el programa comercial CYPE Ingenieros. Los cálculos se realizarán en base al Código Técnico de la Edificación (CTE) y la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE08). Para la edición de los correspondientes planos se empleará el programa AutoCAD.

El proyecto constará de los siguientes documentos: memoria, anexos a la memoria, pliego de condiciones (si procede), planos y presupuesto.



## ÍNDICE

1. MEMORIA .....	13
1.1. Objeto.....	13
1.2. Alcance.....	13
1.3. Antecedentes.....	14
1.4. Normas y referencias .....	15
1.4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas.....	15
1.4.2. Programas de cálculo .....	16
1.4.3. Bibliografía.....	16
1.5. Definiciones y abreviaturas .....	16
1.6. Requisitos de diseño .....	17
1.7. Análisis de soluciones .....	20
1.7.1. Perfil Simple.....	20
1.7.1.1. IPE.....	20
1.7.1.1.1. Descripción del perfil.....	20
1.7.1.1.2. Soluciones viables .....	21
1.7.1.1.3. Influencia de la luz.....	22
1.7.1.1.4. Influencia de la cruzja.....	24
1.7.1.2. IPN .....	26
1.7.1.2.1. Descripción del perfil.....	26
1.7.1.2.2. Soluciones viables .....	27
1.7.1.2.3. Influencia de la luz.....	28
1.7.1.2.4. Influencia de la cruzja.....	30
1.7.1.3. HE.....	31
1.7.1.3.1. Descripción del perfil.....	31
1.7.1.3.2. Soluciones viables .....	32
1.7.1.3.3. Influencia de la luz.....	33
1.7.1.3.4. Influencia de la cruzja.....	35
1.7.1.4. HD .....	37
1.7.1.4.1. Descripción del perfil.....	37
1.7.1.4.2. Soluciones viables .....	38
1.7.1.4.3. Influencia de la luz.....	38

1.7.1.4.4.	Influencia de la crujía.....	40
1.7.1.5.	HP.....	42
1.7.1.5.1.	Descripción del perfil.....	42
1.7.1.5.2.	Soluciones viables .....	43
1.7.1.5.3.	Influencia de la luz.....	44
1.7.1.5.4.	Influencia de la crujía.....	44
1.7.1.6.	HL.....	45
1.7.1.6.1.	Descripción del perfil.....	45
1.7.1.6.2.	Soluciones viables .....	46
1.7.1.6.3.	Influencia de la luz.....	47
1.7.1.6.4.	Influencia de la crujía.....	48
1.7.2.	Vigas alveoladas .....	50
1.7.2.1.	Tipo Boyd .....	50
1.7.2.1.1.	Descripción del perfil.....	50
1.7.2.1.1.	Soluciones viables .....	50
1.7.2.1.2.	Influencia de la luz.....	51
1.7.2.1.3.	Influencia de la crujía.....	52
1.7.2.2.	Tipo Angelina .....	54
1.7.2.2.1.	Descripción del perfil.....	54
1.7.2.2.2.	Soluciones viables .....	55
1.7.2.2.3.	Influencia de la luz.....	55
1.7.2.2.4.	Influencia de la crujía.....	57
1.7.3.	Celosías .....	59
1.7.3.1.	Pratt .....	60
1.7.3.1.1.	Descripción del perfil.....	60
1.7.3.1.2.	Soluciones viables .....	60
1.7.3.1.3.	Influencia de la luz.....	61
1.7.3.1.4.	Influencia de la crujía.....	65
1.7.3.2.	Warren y Warren con montantes.....	69
1.7.3.2.1.	Descripción del perfil.....	69
1.7.3.2.2.	Soluciones viables .....	70
1.7.3.2.3.	Influencia de la luz.....	71
1.7.3.2.4.	Influencia de la crujía.....	73
1.8.	Resultados finales .....	76
1.8.1.	Perfil simple .....	77
1.8.2.	Vigas alveoladas .....	79

1.8.3.	Celosías .....	81
1.8.4.	Conclusiones.....	82
1.9.	Presupuesto.....	84
2.	ANEXO DE CÁLCULOS .....	87
2.1.	Condiciones iniciales .....	87
2.2.	Materiales .....	87
2.3.	Acciones .....	88
2.4.	Pandeo .....	88
2.4.1.	Jácnas .....	89
2.4.2.	Pilares.....	89
2.4.3.	Pilares del pórtico interior.....	89
2.4.4.	Viga perimetral.....	90
2.4.5.	Diagonales de arriostramiento.....	90
2.4.6.	Montantes .....	90
2.5.	Cerramientos.....	90
2.6.	Cubierta.....	90
2.7.	Flecha .....	92
2.8.	Hipótesis más desfavorables.....	92
2.9.	Placas de anclaje .....	93
2.10.	Cimentación .....	94
2.10.1.	Hormigón de limpieza .....	94
2.10.2.	Zapatas.....	94
2.10.3.	Vigas de atado.....	94
2.11.	Comprobaciones en CYPE .....	94
3.	ANEXO DE SOLUCIONES .....	114
4.	PRESUPUESTO .....	125
5.	PLANOS.....	129

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Luz (L) y crujía (r) de una nave industrial a dos aguas.....	14
Figura 2. Estructura tipo estudiada. ....	18
Figura 3. Estructura tipo para celosías tipo Pratt.....	19
Figura 4. Estructura tipo para celosías tipo Warren.....	19
Figura 5. Estructura tipo para celosías tipo Warren con montantes. ....	19
Figura 6. Perfil IPE .....	21
Figura 7. Influencia de la luz sobre la elección del perfil IPE para pilares.....	23
Figura 8. Influencia de la luz sobre la elección del perfil IPE para jácenas.....	24
Figura 9. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil IPE para pilares.....	25
Figura 10. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil IPE para jácenas.....	26
Figura 11. Perfil IPN.....	27
Figura 12. Influencia de la luz sobre la elección del perfil IPN para pilares. ....	29
Figura 13. Influencia de la luz sobre la elección del perfil IPN para jácenas. ....	29
Figura 14. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil IPN para pilares. ....	30
Figura 15. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil IPN para jácenas. ....	31
Figura 16. Perfil HE.....	32
Figura 17. Influencia de la luz sobre la elección del perfil HE para pilares. ....	34
Figura 18. Influencia de la luz sobre la elección del perfil HE para jácenas. ....	35
Figura 19. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HE para pilares. ....	36
Figura 20. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HE para jácenas. ....	37
Figura 21. Perfil HD.....	38
Figura 22. Influencia de la luz sobre la elección del perfil HD para pilares. ....	39
Figura 23. Influencia de la luz sobre la elección del perfil HD para jácenas. ....	40
Figura 24. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HD para pilares. ....	41
Figura 25. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HD para jácenas.....	42
Figura 26. Perfil HP.....	43
Figura 27. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HP para pilares.....	44
Figura 28. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HP para jácenas.....	45
Figura 29. Perfil HL.....	46
Figura 30. Influencia de la luz sobre la elección del perfil HL para pilares. ....	47
Figura 31. Influencia de la luz sobre la elección del perfil HL para jácenas. ....	48
Figura 32. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HL para pilares. ....	49
Figura 33. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HL para jácenas. ....	49
Figura 34. Viga tipo Boyd.....	50
Figura 35. Influencia de la luz sobre la elección de la viga tipo Boyd para pilares. ....	51
Figura 36. Influencia de la luz sobre la elección de la viga tipo Boyd para jácenas. ....	52
Figura 37. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil tipo Boyd para pilares. ....	53
Figura 38. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil tipo Boyd para jácenas. ....	54
Figura 39. Viga tipo Angelina. ....	55
Figura 40. Influencia de la luz sobre la elección de la viga tipo Angelina para pilares.....	56
Figura 41. Influencia de la luz sobre la elección de la viga tipo Angelina para jácenas.....	57
Figura 42. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil tipo Angelina para pilares. ....	58
Figura 43. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil tipo Angelina para jácenas. ....	59
Figura 44. Perfil hueco de sección cuadrada.....	60
Figura 45. Viga en celosía tipo Pratt.....	60
Figura 46. Influencia de la luz sobre la elección del perfil para pilares.....	62



Figura 47. Influencia de la luz sobre la elección del perfil de la celosía Pratt para el cordón superior.	63
Figura 48. Influencia de la luz sobre la elección del perfil de la celosía Pratt para los montantes. ..	64
Figura 49. Influencia de la luz sobre la elección del perfil de la celosía Pratt para las diagonales...	65
Figura 50. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil IPE para pilares.....	66
Figura 51. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil de la celosía Pratt para cordones superiores.....	67
Figura 52. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil de la celosía Pratt para los montantes.	68
Figura 53. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil de la celosía Pratt para las diagonales.	69
Figura 54. Viga en celosía tipo Warren.....	70
Figura 55. Viga en celosía tipo Warren con montantes. ....	70
Figura 56. Influencia de la luz sobre la elección del perfil para pilares.....	71
Figura 57. Influencia de la luz sobre la elección del perfil de la celosía Warren y Warren con montantes para jácenas.....	72
Figura 58. Influencia de la luz sobre la elección del perfil de la celosía Warren y Warren con montantes para las diagonales. ....	73
Figura 59. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil IPE para pilares.....	74
Figura 60. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil de la celosía Warren y Warren con montantes para jácenas.....	75
Figura 61. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil de la celosía Warren y Warren con montantes para las diagonales. ....	76
Figura 62. Peso de los perfiles simples según variación en la luz de la estructura para crujías de 4 metros.....	77
Figura 63. Peso de los perfiles simples según variación en la luz de la estructura para crujías de 7 metros.....	78
Figura 64. Peso de los perfiles Boyd y Angelina según variación en la luz de la estructura para crujías de 4 metros. ....	79
Figura 65. Peso de los perfiles Boyd y Angelina según variación en la luz de la estructura para crujías de 7 metros. ....	80
Figura 66. Peso de las celosías según variación en la luz de la estructura para crujías de 4 metros.	81
Figura 67. Peso de las celosías según variación en la luz de la estructura para crujías de 7 metros.	82
Figura 68. Comparativa final entre perfiles.....	83
Figura 69. Pórtico interior tipo (caso particular IPE).....	95
Figura 70. Pórtico de fachada tipo (caso particular mostrado IPE).....	112
Figura 71. Peso de los perfiles simples según variación en la luz de la estructura para crujías de 5 metros.....	114
Figura 72. Peso de los perfiles Boyd y Angelina según variación en la luz de la estructura para crujías de 5 metros. ....	114
Figura 73. Peso de las celosías según variación en la luz de la estructura para crujías de 5 metros.	115
Figura 74. Peso de los perfiles simples según variación en la luz de la estructura para crujías de 6 metros.....	115
Figura 75. Peso de los perfiles Boyd y Angelina según variación en la luz de la estructura para crujías de 6 metros. ....	116
Figura 76. Peso de las celosías según variación en la luz de la estructura para crujías de 6 metros.	116

Figura 77. Peso de los perfiles simples según variación en la luz de la estructura para crujías de 8 metros.....	117
Figura 78. Peso de los perfiles Boyd y Angelina según variación en la luz de la estructura para crujías de 8 metros. ....	117
Figura 79. Peso de las celosías según variación en la luz de la estructura para crujías de 8 metros. ....	118
Figura 80. Peso de los perfiles simples según variación en la luz de la estructura para crujías de 9 metros.....	118
Figura 81. Peso de los perfiles Boyd y Angelina según variación en la luz de la estructura para crujías de 9 metros. ....	119
Figura 82. Peso de las celosías según variación en la luz de la estructura para crujías de 9 metros. ....	119
Figura 83. Peso de los perfiles simples según variación en la luz de la estructura para crujías de 10 metros.....	120
Figura 84. Peso de los perfiles Boyd y Angelina según variación en la luz de la estructura para crujías de 10 metros. ....	120
Figura 85. Peso de las celosías según variación en la luz de la estructura para crujías de 10 metros. ....	121

# DOCUMENTO 1

## MEMORIA DESCRIPTIVA



# 1. MEMORIA

## 1.1. Objeto

El objeto del presente proyecto es estudiar la idoneidad de diferentes diseños de naves industriales de acero a dos aguas a través de un análisis paramétrico en función de las dimensiones de las mismas y desde el punto de vista económico.

Como resultado del estudio, se presentan unas figuras y datos tabulados que pretenden establecer ciertas pautas de diseño para naves a dos aguas. Se trata de recomendaciones para la selección idónea del perfil, siempre desde el punto de vista económico, según las dimensiones de una estructura dada.

## 1.2. Alcance

El presente proyecto consiste en el diseño y cálculo de las diferentes configuraciones propuestas. A continuación, se detallan las características de las naves a estudiar. Como se observa en la Tabla 1, todos los parámetros, excepto la luz (L) y la crujía (r) de la nave, son iguales para todas las estructuras:

Tabla 1. Parámetros de las naves planteadas.

Parámetros	Rango de variación
<b>h (altura pilares externos)</b>	10 m
<b>h<sub>total</sub> (altura pilar central)</b>	14 m
<b>L (luz de la nave)</b>	25-60 m
<b>r (crujía)</b>	6-10 m
<b>Nº Vanos</b>	8
<b>Material acero</b>	S275

La luz de la nave va a variar desde los 4 metros hasta los 10 metros (con intervalos de 1 metro) y para cada una de esas luces, se va a variar la crujía desde los 25 metros hasta los 60 metros (con intervalos de 5 metros). En la Figura 1, se muestra una nave tipo, con los parámetros que van a variar (luz (L) y crujía (r)), descritos previamente:

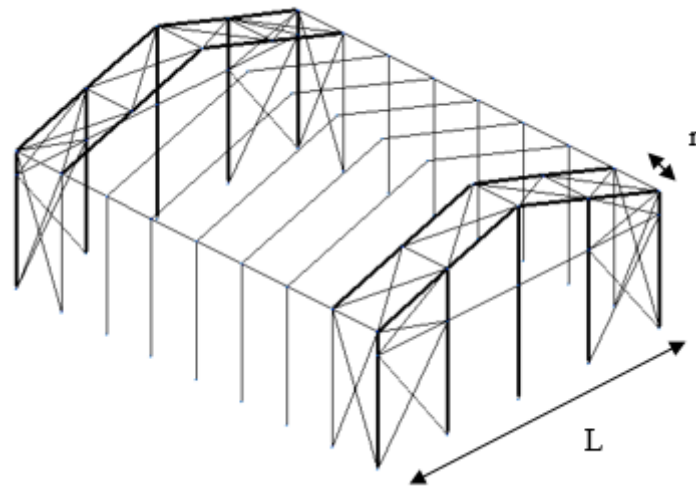


Figura 1. Luz ( $L$ ) y crujía ( $r$ ) de una nave industrial a dos aguas.

Adicionalmente, se va a realizar el estudio con distintos perfiles para cada una de las posibilidades anteriores. Los grupos de perfiles que se van a estudiar para cada una de las configuraciones de las estructuras anteriormente mencionadas son los siguientes:

- Perfil simple.
- Vigas alveoladas: Tipo Boyd y Angelina.
- Celosías: Pratt, Warren y Warren con montantes.

Por último, se va a realizar un estudio comparativo entre las mismas clases de perfiles para determinar qué perfil es el óptimo según las dimensiones de la nave.

### 1.3. Antecedentes

Una estructura o nave industrial es un conjunto de elementos resistentes capaz de mantener sus formas y cualidades a lo largo del tiempo, bajo la acción de cargas y agentes externos a los que ha de estar sometido.

Para abordar este trabajo es fundamental, en primer lugar, comprender ciertos aspectos de construcciones y arquitectura industrial.

Los primeros edificios industriales surgieron en torno a las ciudades en los siglos XVIII y XIX, debido a la Revolución industrial. Las ciudades se transformaron sustancialmente, apareciendo las grandes chimeneas, obreros y fábricas. La sociedad comenzó a industrializarse y, con ella, el paisaje urbano de las ciudades empezó a ser gobernado por naves industriales.

Las fábricas se impusieron a la economía y con ellas aparecieron las naves industriales, un apoyo para la producción en serie (nacida durante la Revolución Industrial).

Las primeras naves industriales se basaron en la arquitectura civil de la época, utilizándose estructuras y materiales como vigas y cerchas de madera sobre muros de carga. También se emplearon bóvedas de piedra natural o ladrillo. Dichas naves eran espacios poco diáfanos, con una iluminación y ventilación casi inexistente.

Es interesante destacar la evolución que han sufrido los materiales de construcción a lo largo de la historia de las naves industriales. Empezando con estructuras de madera (lo cual impedía una separación entre apoyos mayor a 6 metros) llegando a la actualidad a la utilización de acero y hormigón como principales materiales, pudiendo llegar a distancias entre apoyos superiores a 30 metros, lo cual se adapta mejor a las necesidades de la población y satisface su demanda.

Hoy en día, debido a la gran demanda del mercado, existe una regulación para concretar dónde se construyen las naves industriales y el tipo de actividades que pueden ejercerse en ellas. En los llamados polígonos industriales es donde se concentra la actividad industrial, y se encuentran en las afueras de la ciudad.

Actualmente, la tecnología cuenta un papel vital en el mercado dentro de todos los ámbitos y, por supuesto, dentro del sector de la construcción. Esto es interesante por ayuda a mejorar la construcción con nuevos materiales y formas de actuación, no obstante, esta tecnología supone un reto para los proyectistas debido a la infinidad de posibilidades a la hora de abordar un trabajo. Por tanto, facilitar una guía para el diseño de una estructura, dependiendo de sus dimensiones, es un punto de avance que encaja con la visión del sector de la construcción y que puede ser muy útil a la hora del diseño y construcción de las naves industriales.

Por último, cabe destacar que existe un trabajo previo ya presentado relacionado con el tema del presente proyecto. No obstante, el alcance del mismo era más acotado que el presente, por lo que se trata de dos estudios diferentes, dentro de la misma temática.

## **1.4. Normas y referencias**

### **1.4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas**

A continuación, se describen la normativa que ha sido aplicada durante el desarrollo del proyecto.

- Código Técnico de la Edificación (CTE): se trata del marco normativo que establece y desarrolla las exigencias básicas de calidad de los edificios y sus instalaciones, permitiendo demostrar que satisfacen los requisitos básicos de la edificación que establece la Ley. Cubre requisitos básicos de seguridad y de habitabilidad.
  - DB-SI: Documento Básico. Seguridad en caso de Incendio.
  - DB-SE: Documentos básico. Seguridad Estructural.
    - DB-SE-A: Documento Básico. Seguridad Estructural. Aceros.

- DB-SE-AE: Documento Básico. Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación.

En el caso de los elementos de hormigón, se ha utilizado la instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08). Además de los documentos anteriormente citados, se han empleado las siguientes normas: UNE EN 23585, norma UNE EN 23007-14, norma UNE 23500-12, la norma UNE 23033-1, la norma UNE 157001-14 y norma UNE EN 54-07, y para secciones mixtas, norma UNE-EN 1994-1-1:2013.

#### **1.4.2. Programas de cálculo**

Para realizar el cálculo de la estructura se ha utilizado el programa comercial CYPE INGENIEROS Versión 2018. En concreto, se han empleado los módulos “Generador de Pórticos”, “CYPE 3D” y “Generador de Precios”. Los planos han sido editados y desarrollados mediante la herramienta informática “AutoCAD”.

#### **1.4.3. Bibliografía**

Para la realización del presente trabajo, se ha tomado información de distintas fuentes:

- *CYPE 3D 2016. Diseño y Cálculo de Estructuras Metálicas*. Antonio Manuel Reyes Rodríguez.
- *Estructuras de Acero. Uniones y Sistemas Estructurales*, Argüelles, R.e otros, Ed. Bellisco, 2007.
- *Estructuras de Acero en Edificación*, Hurtado, C.e otros, Publicaciones APTA, 2008.
- *Eurocódigo Estructural 3. Diseño de Estructuras de Acero*. EN 1993.
- *Estructuras de Madera. Diseño y Cálculo*. Ramón Argüelles.
- <http://www.codigotecnico.org/> → Página Web oficial del Código Técnico de la Edificación.
- [http://www.apta.com.es/prontuario/Capitulo\\_6.htm](http://www.apta.com.es/prontuario/Capitulo_6.htm)
- <http://sections.arcelormittal.com/es/productos-y-servicios/gama-de-productos.html>
- [www.cype.es](http://www.cype.es) → Página Web oficial del software para arquitectura, ingeniería y construcción CYPE INGENIEROS.
- [https://www.construmatica.com/construpedia/Viga\\_Warren](https://www.construmatica.com/construpedia/Viga_Warren) → Web sobre ingeniería y construcción.

### **1.5. Definiciones y abreviaturas**

$\beta$ : coeficiente de pandeo.

Clase: tipología del perfil en función de su elasticidad/plasticidad.

CTE: Código Técnico de la Edificación.



E: módulo de elasticidad.

EL: estados límite.

ELS: estados límite de servicio.

ELU: estados límite últimos.

$f_y$ : límite elástico.

G: acción permanente.

GT: grado de traslacionalidad (GT=1, traslacional; GT=0, intraslacional).

H: altura interior de la nave

$H_t$ : altura total de la nave.

I: inercia del perfil.

i: radio de giro del perfil.

$L_k$ : longitud pandeo del perfil.

PP: acción debida al peso propio de la estructura.

PS: perfil simple.

Q: acción por sobrecarga de uso.

r: crujía, distancia entre pórticos.

VA-A: perfil aligerado tipo Angelina.

VA-B: perfil aligerado tipo Boyd.

$\bar{\lambda}$ : esbeltez reducida, parámetro de verificación.

## 1.6. Requisitos de diseño

La localización física del presente proyecto es en un polígono industrial dentro de la región de Castellón.

La geometría tipo de las naves estudiadas es la mostrada en la Figura 2. Cabe destacar que la altura de la nave, tanto de pilares externos como de cumbrera (pilar central de la estructura), se mantiene constante para todos los casos. Por tanto, los parámetros geométricos que se varían son, la luz y la crujía de la estructura.

Por su parte los perfiles utilizados tanto para las cruces de San Andrés como para las vigas contraviento son tirantes, y, las vigas perimetrales y los montantes son perfiles cuadrados huecos (acero conformado). Además, se ha dotado a todas las estructuras una barra horizontal en los pórticos de fachada (delantero y trasero), tal y como se puede observar en la Figura 2:

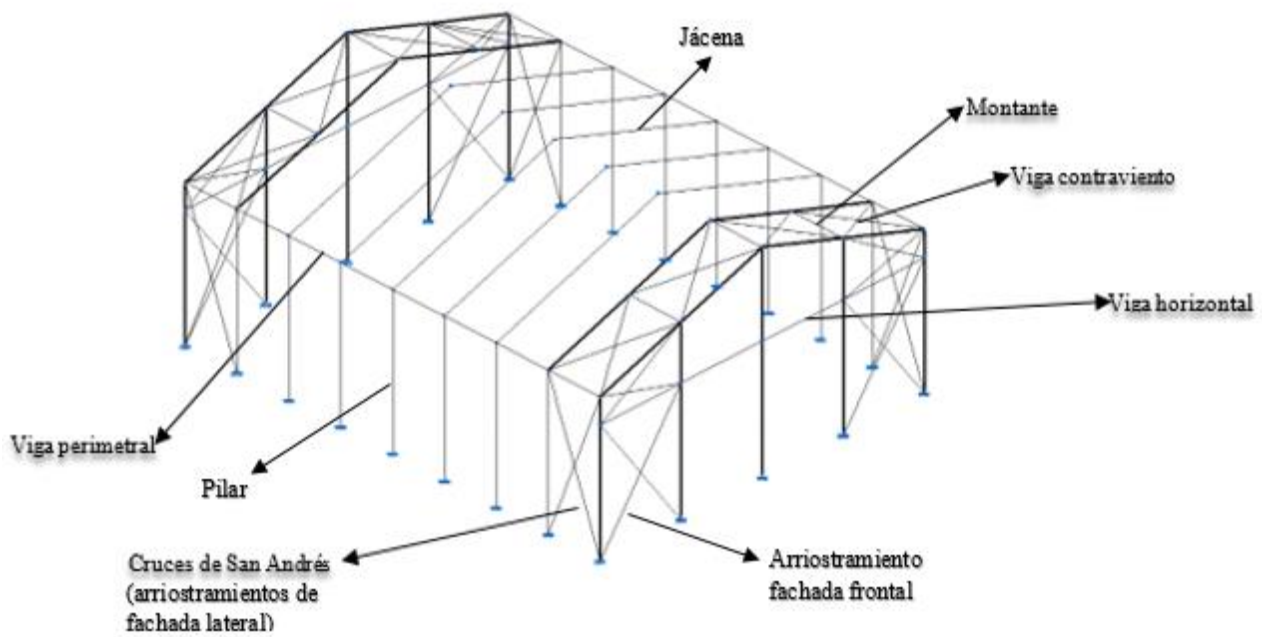


Figura 2. Estructura tipo estudiada.

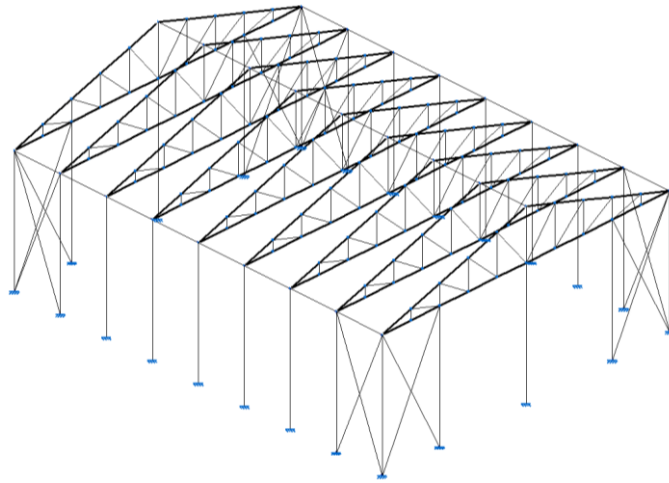
En el análisis de las estructuras en celosía los pilares se han calculado con perfiles de la familia IPE, mientras que la celosía corresponde a perfiles cuadrados huecos. Para obtener el número de tramos que requiere cada configuración, se debe tener en cuenta que las diagonales de la celosía deben tener un ángulo mayor a  $30^\circ$  y menor de  $60^\circ$  para que trabaje de manera más eficiente. Para el presente estudio, se ha considerado un ángulo de  $45^\circ$ , por tanto, quedaría de la siguiente manera:

Tabla 2. Número de tramos de jácena en función de la geometría.

Luz (m)	Nº tramos	Ángulo ( $^\circ$ )
25	10	45
30	12	45
35	14	45
40	16	45
45	18	45
50	20	45
55	22	45
60	24	45

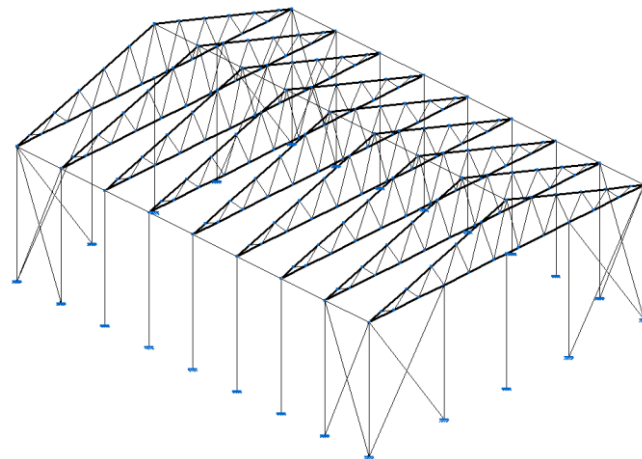
Tal y como se ha presentado, se han estudiado tres tipologías distintas de celosía:

- Celosía Pratt



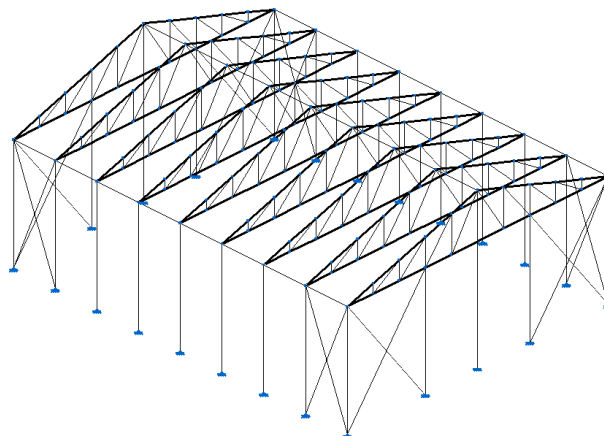
*Figura 3. Estructura tipo para celosías tipo Pratt.*

- Celosía Warren



*Figura 4. Estructura tipo para celosías tipo Warren.*

- Celosía Warren con montantes



*Figura 5. Estructura tipo para celosías tipo Warren con montantes.*

Por último, cabe destacar que, en todas las configuraciones realizadas se ha adoptado como criterio de diseño disponer el mismo pórtico interior para todos los pórticos. Esto significa que todas las vigas interiores tienen el mismo perfil y, todos los pilares interiores tienen, también, el mismo perfil.

Por su parte, se ha seguido el mismo criterio de diseño para los pórticos de fachada, agrupando los pilares interiores del pórtico de fachada, y, tomando como referencia el pilar central (debido a que es el más desfavorable).

## **1.7. Análisis de soluciones**

En este apartado, se van a agrupar las soluciones estudiadas según perfiles. Por tanto, el análisis será de la siguiente manera:

- Perfil simple:
  - IPE.
  - IPN.
  - HE.
  - HD.
  - HP.
  - HL.
- Vigas alveoladas:
  - Tipo Boyd.
  - Tipo Angelina.
- Perfil en celosía:
  - Tipo Pratt.
  - Tipo Warren.
  - Tipo Warren con montantes.

### **1.7.1. Perfil Simple**

#### **1.7.1.1. IPE**

##### **1.7.1.1.1. Descripción del perfil**

Los perfiles IPE son un producto laminado con una sección en forma de doble T. Las caras exteriores e interiores de las alas son paralelas entre ellas y perpendiculares al alma, por tanto, tienen un espesor constante. Con respecto a las uniones entre las caras interiores de las alas y las caras del alma, se trata de uniones redondeadas y las aristas de las alas son vivas.

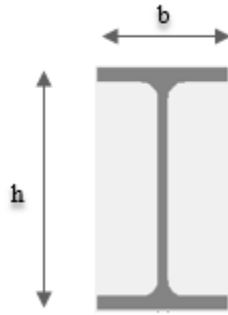


Figura 6. Perfil IPE

Por su parte, se trata de perfiles cuya relación entre el ancho ( $b$ ) y el canto ( $h$ ) se mantiene en un valor inferior a 0,66. Es importante destacar que, en este tipo de perfiles, la serie se nombra respecto al canto total ( $h$ ) del mismo. Por tanto, el rango de valores de la serie de perfiles IPE tiene como perfil mínimo un IPE 80 y un perfil máximo un IPE 600. Esto significa que el canto del perfil mínimo es de 80mm y el del perfil máximo es de 600mm.

Este tipo de perfiles trabajan mejor a flexión que a compresión con respecto a los demás perfiles, siendo uno de los perfiles comerciales más adecuados para elementos sometidos a esfuerzos de flexión. Sin embargo, su rendimiento para soportar esfuerzos de compresión disminuye considerablemente.

Dentro de la clase de perfiles IPE, se han considerado tres tipos distintos de perfiles:

- IPE – A: Perfiles de alas paralelas aligeradas.
- IPE – O: Perfiles de alas paralelas reforzadas.
- IPE: Perfiles de alas paralelas.

Los perfiles IPE se definen de acuerdo con las siguientes normas:

- UNE 36526:2018 - Productos de Acero. Perfiles en I con alas paralelas (IPE) de acero laminado en caliente. Dimensiones y masas.
- UNE-EN 10034:1994 - Perfiles I y H de Acero Estructural. Tolerancias dimensionales y de forma.

#### 1.7.1.1.2. Soluciones viables

A continuación, se procede a explicar las soluciones viables de los perfiles simples IPE dentro de las configuraciones propuestas para el presente estudio. En la Tabla 3, se pueden apreciar las combinaciones que permite el perfil simple IPE para los casos estudiados, obteniendo un total de 22 casos a analizar:

Tabla 3. Combinaciones viables dentro de la familia IPE.

Crujía (m)	Perfiles IPE							
	Luz (m)							
	25	30	35	40	45	50	55	60
4	x	x	x	x				
5	x	x	x	x				
6	x	x	x	x				
7	x	x	x					
8	x	x	x					
9	x	x						
10	x	x						

Tal y como muestra la Tabla 3, la distancia de luz máxima que permite el perfil IPE es de 40 metros. Si la luz de la nave es mayor a 40 metros, este tipo de perfiles deja de ser una solución viable.

Por otra parte, se observa que a medida que sube el valor de la crujía, los valores de la luz de la nave (para los que hay soluciones viables) van disminuyendo. La crujía más desfavorable estudiada en el presente trabajo es de 10 metros, donde se puede apreciar una considerable reducción en el valor de la luz de la nave (30 metros). Esta reducción es debida a que, cuando crece la crujía, la longitud tributaria para la jácena lo hace también, y, por tanto, el área tributaria de la cual soporta la carga es mayor.

#### 1.7.1.1.3. Influencia de la luz

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la luz del pórtico para una crujía ( $r$ ) determinada constante. Como se ha observado en el apartado anterior, las combinaciones donde la luz del perfil IPE es superior a 40 metros, independientemente del valor de la crujía, no son soluciones viables.

En este apartado se tomará, como ejemplo, una estructura con una crujía de 4 metros (mínima crujía estudiada), una crujía de 7 metros (crujía intermedia) y una crujía de 10 metros (máxima crujía estudiada) y se estudiará la evolución de los perfiles IPE al ampliar la luz de la nave en cada caso.

Además, se realizará el estudio para pilares y jácenas por separado. En el anexo de cálculos, se pueden encontrar todos los casos.

#### Pilares

A continuación, se muestra en la Figura 7 la evolución del perfil de los pilares en función de la luz de la estructura:

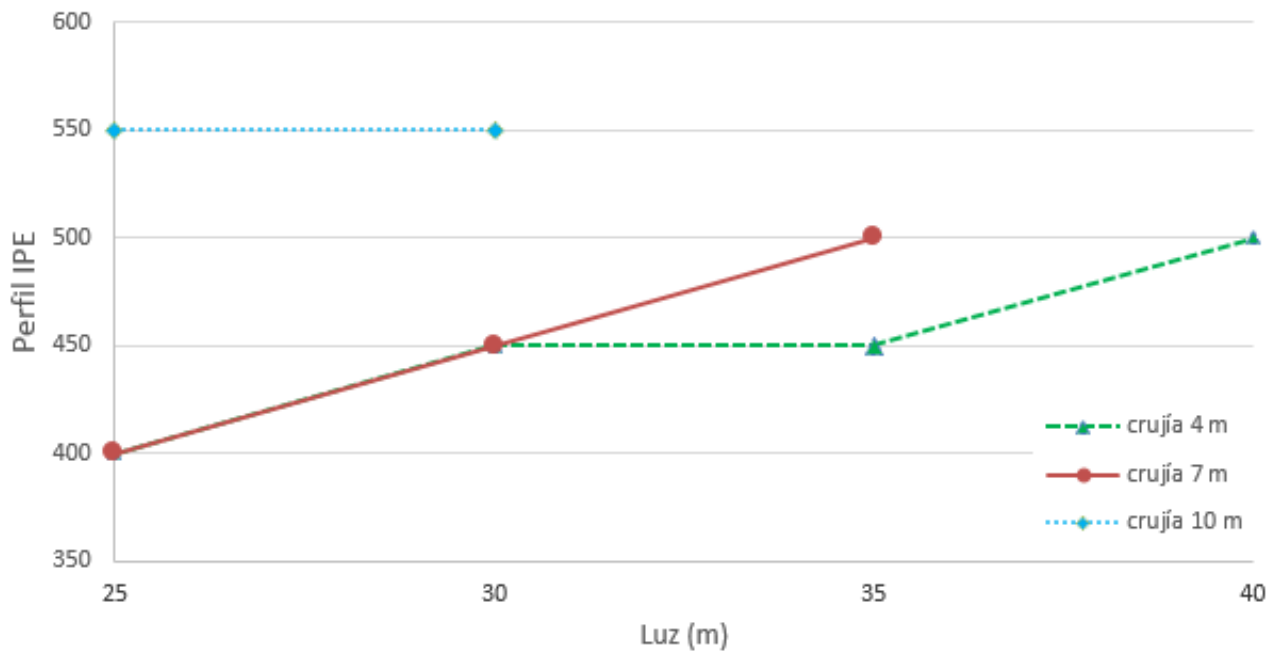


Figura 7. Influencia de la luz sobre la elección del perfil IPE para pilares.

Como se puede apreciar en la Figura 7, para una crujía de 4 metros, a medida que crece la luz de la nave, el perfil necesario incrementa, aunque no varía en luces de 30 y 35 metros. Con respecto a la crujía intermedia estudiada, de 7 metros, se puede observar que el incremento del perfil es lineal a medida que crece la luz de la estructura.

Se puede observar como para la máxima crujía, la menor de las luces ya exige un perfil IPE de los más altos de la serie (IPE 500). Para este caso, únicamente hay solución viable para luces de 25 y 30 metros. Para luces de 35 metros en adelante, no existe un perfil en la serie IPE que cumpla los requisitos impuestos.

Para la crujía de 10 metros, la luz máxima viable de la nave disminuye hasta un valor de 30 metros, donde ya se necesita un perfil muy elevado para cumplir las solicitudes requeridas, un IPE 550.

## Jácnas

A continuación, se procede al estudio de las jácnas dentro de la familia de perfiles IPE. Como anteriormente, se estudiará la influencia de la luz para las tres crujeas estudiadas.

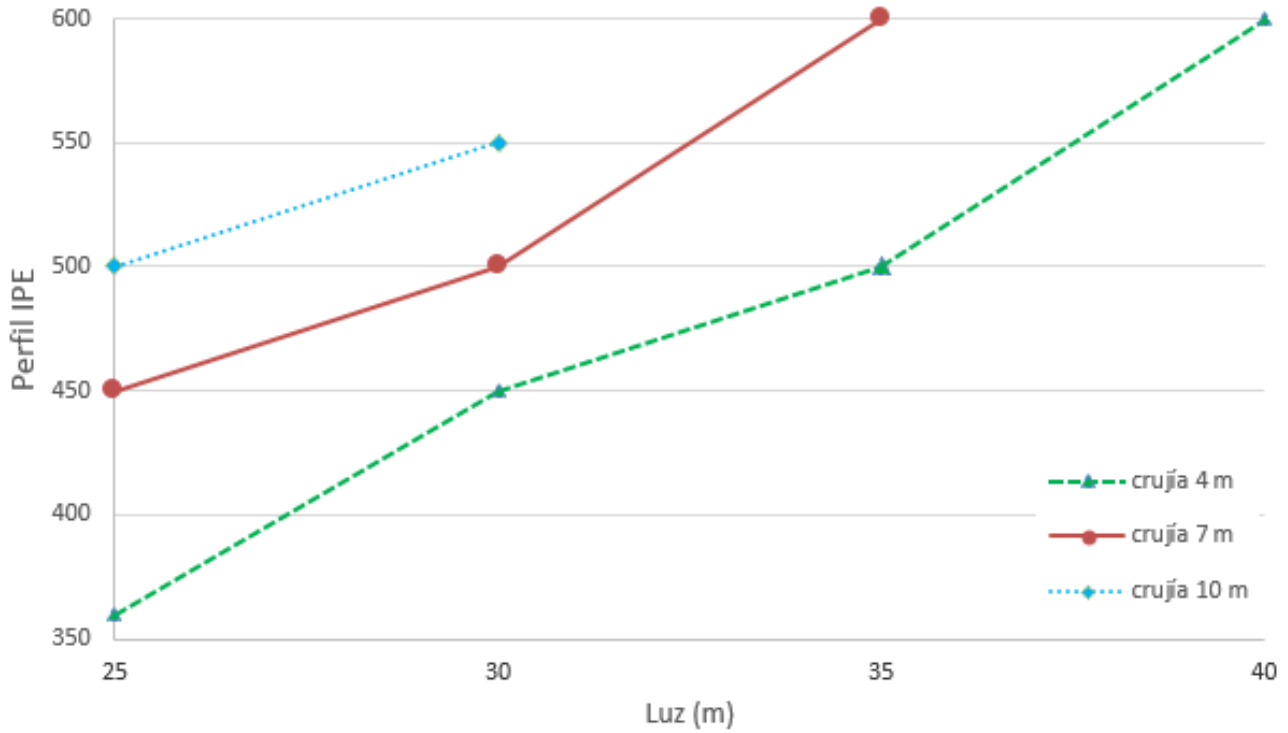


Figura 8. Influencia de la luz sobre la elección del perfil IPE para jácnas.

Como muestra la Figura 8, en líneas generales, tal y como cabía esperar, a mayor luz de la estructura, mayor perfil se necesita.

Como se puede observar, en los dos primeros casos mostrados se toca el perfil más elevado de la serie IPE, siendo este IPE 600. Lo que significa que, al extender la luz, ya no existirá un perfil mayor que cumpla con las solicitudes requeridas.

En el último caso presentado, se puede apreciar que el perfil máximo para luces de 30 metros es un IPE 550 (uno de los más altos de la serie, pero no el último). Sin embargo, al subir la luz a 35 metros, el perfil de la jácena es más sensible al crecimiento de solicitudes y, por tanto, no cumpliría ningún perfil IPE los requisitos establecidos.

### 1.7.1.1.4. Influencia de la crujía

En esta sección, y, de manera análoga al apartado anterior, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la crujía de la estructura para una luz concreta.



## Pilares

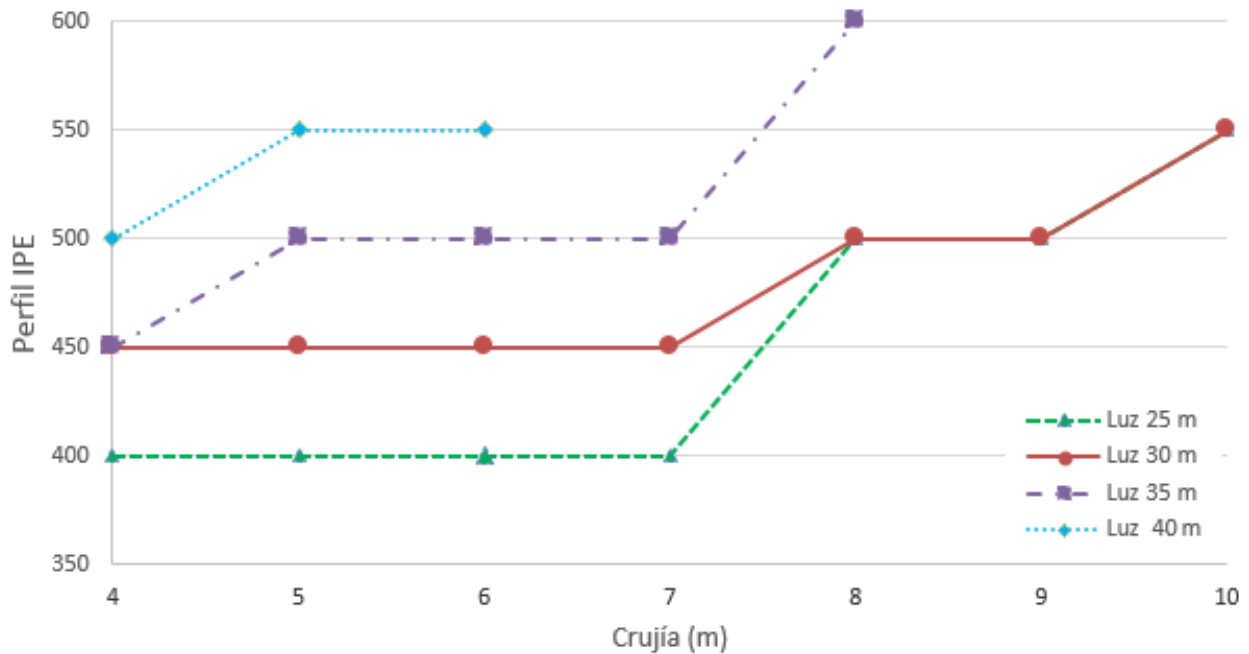


Figura 9. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil IPE para pilares.

En la Figura 9 se puede ver que el perfil necesario sube a medida que varía la crujía de la nave, como era de prever. Sin embargo, cabe destacar que, para los tres primeros casos presentados, es decir, para luces de 25 a 35 metros, el incremento de la crujía de 4 a 7 metros no supone un cambio sustancial en la demanda de un perfil superior en la serie IPE.

A partir de ahí, la demanda del perfil aumenta respecto a la variación en la crujía. Por su parte, para luces más grandes (35 metros y 40 metros), se ve una pequeña pendiente al principio, cuando la crujía pasa de 4 metros a 5 metros, para después permanecer constante. En el caso de luces de 35 metros, la pendiente sube en el último tramo hasta alcanzar un perfil IPE 600, siendo este el perfil más grande de la serie comercial IPE.

## Jácnas

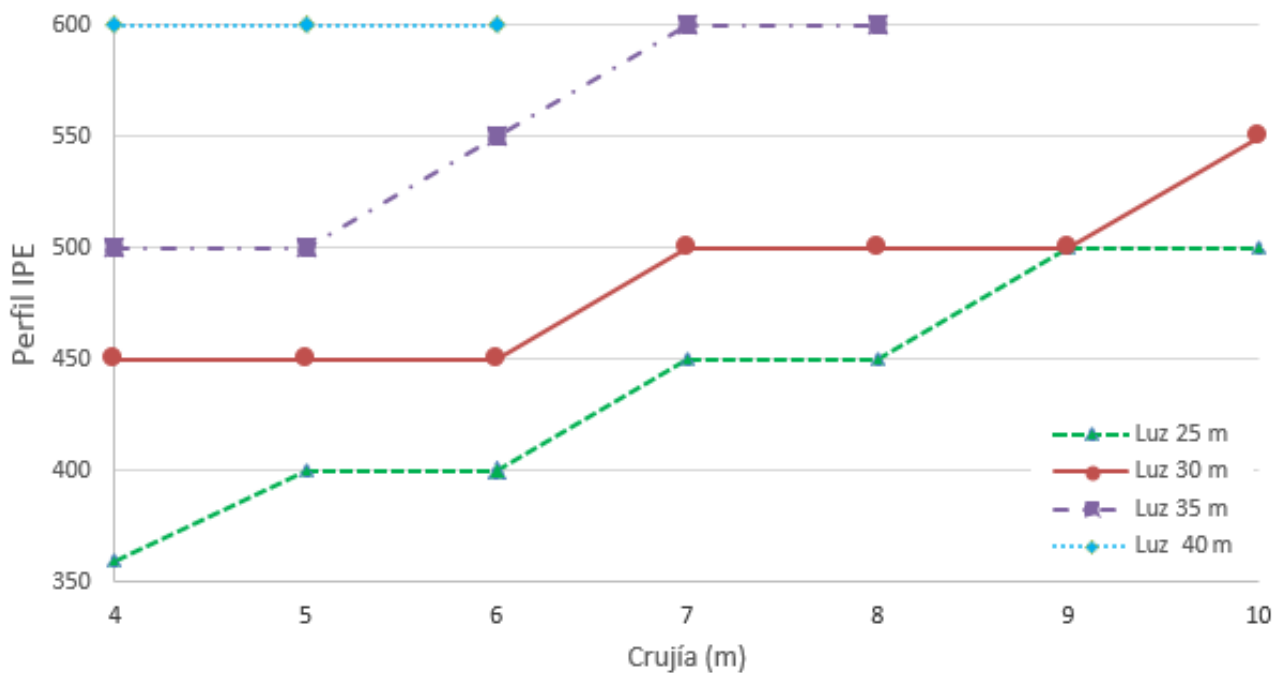


Figura 10. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil IPE para jácnas.

En la Figura 10, se puede apreciar como para crujías de 25 metros de luz, aumenta el perfil necesario a medida que incrementa la crujía. Esto sucede, de manera generalizada, para todos los casos de luz inferior a 40 metros.

En el caso de luces de 30 y 35 metros, el perfil permanece relativamente constante a lo largo de todos los valores de crujía. Esto significa que la selección del perfil de la jácena no es tan sensible a la variación de la crujía como se puede observar en el caso de luces de 25 metros. Por tanto, el incremento de carga que supone la ampliación de un metro de crujía no agota al perfil y esto puede ser debido a que, el estado límite que fija el dimensionamiento, es el de deformación, influenciado principalmente por la distancia entre apoyos (luz de la nave).

Para luces de 35 metros, crece el perfil linealmente a medida que aumenta la crujía hasta un perfil IPE 600 (el mayor de la serie) para crujías de 7 metros. Además, es importante mencionar que, para luces de 40 metros, independientemente de la crujía (dentro de los casos viables), el perfil no varía, es decir, y desde el inicio se precisa del perfil más alto de la serie.

### 1.7.1.2. IPN

#### 1.7.1.2.1. Descripción del perfil

Son perfiles laminados en I con alas inclinadas (con forma de doble T). Las caras exteriores de las alas son perpendiculares al alma y las caras interiores presentan una inclinación del 14% respecto a las caras exteriores.

Debido a esta geometría, las alas de estos perfiles no tienen un espesor constante, sino que tienen menos espesor en los bordes que en el centro. Por su parte, las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas. Estas tienen el borde con arista exterior viva e interior redondeada, tal y como se puede observar en la Figura 11:

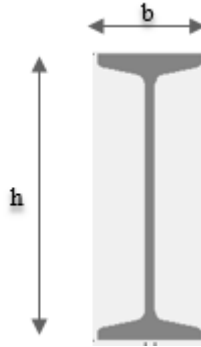


Figura 11. Perfil IPN.

La serie de este tipo de perfiles se nombra respecto al canto ( $h$ ) del mismo, similar a los perfiles IPE. Teniendo, además, un rango de valores parecido al de la serie de perfiles IPE, siendo, el perfil mínimo un IPN 80 y un perfil máximo un IPN 600. Esto significa que el canto del perfil mínimo es de 80mm y el del perfil máximo es de 600mm.

Los perfiles IPN se comportan peor a flexión que los perfiles IPE, además, su peso es mayor debido a la disposición de las alas. Esto implica una limitación para naves con grandes luces, por tanto, su utilización en la industria se está viendo cada vez más reducida.

Los perfiles IPN se definen de acuerdo con las siguientes normas:

- UNE 36521:2018 – Productos de Acero. Perfiles en I con alas inclinadas (IPN) de acero laminado en caliente. Dimensiones y masas.
- UNE-EN 10024:1995 - Productos de Acero laminado en caliente. Sección en I con alas inclinadas. Tolerancias dimensionales y de forma.

#### 1.7.1.2.2. Soluciones viables

En este apartado muestran las soluciones viables de los perfiles simples IPN. En la Tabla 4, se pueden apreciar las combinaciones de luz y crujía que permite el perfil simple IPN para los casos estudiados. En total, se tienen 15 casos a analizar:

Tabla 4. Combinaciones viables dentro de la familia IPN.

Crujía (m)	Perfiles IPN							
	Luz (m)							
	25	30	35	40	45	50	55	60
4	x	x	x					
5	x	x						
6	x	x						
7	x	x						
8	x	x						
9	x	x						
10	x	x						

Tal y como se observa en la Tabla 4, la distancia de luz máxima que permite el perfil IPN es de 35 metros. Además, esto únicamente ocurre cuando la crujía es la mínima estudiada, es decir, de 4 metros. Para crujías mayores, la máxima luz es de 30 metros.

### 1.7.1.2.3. Influencia de la luz

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la luz de la estructura para una crujía ( $r$ ) determinada constante. Como se ha observado en el apartado anterior, las combinaciones donde la luz del pórtico del perfil IPN es superior a 30 metros, exceptuando la crujía de 4 metros que soporta una luz de 35 metros, no son válidas para las demás crujías estudiadas.

Del mismo modo que para los perfiles IPE, se mostrarán únicamente los resultados para 3 crujías. En el anexo de cálculo se pueden consultar todos los casos de estudio.

## Pilares

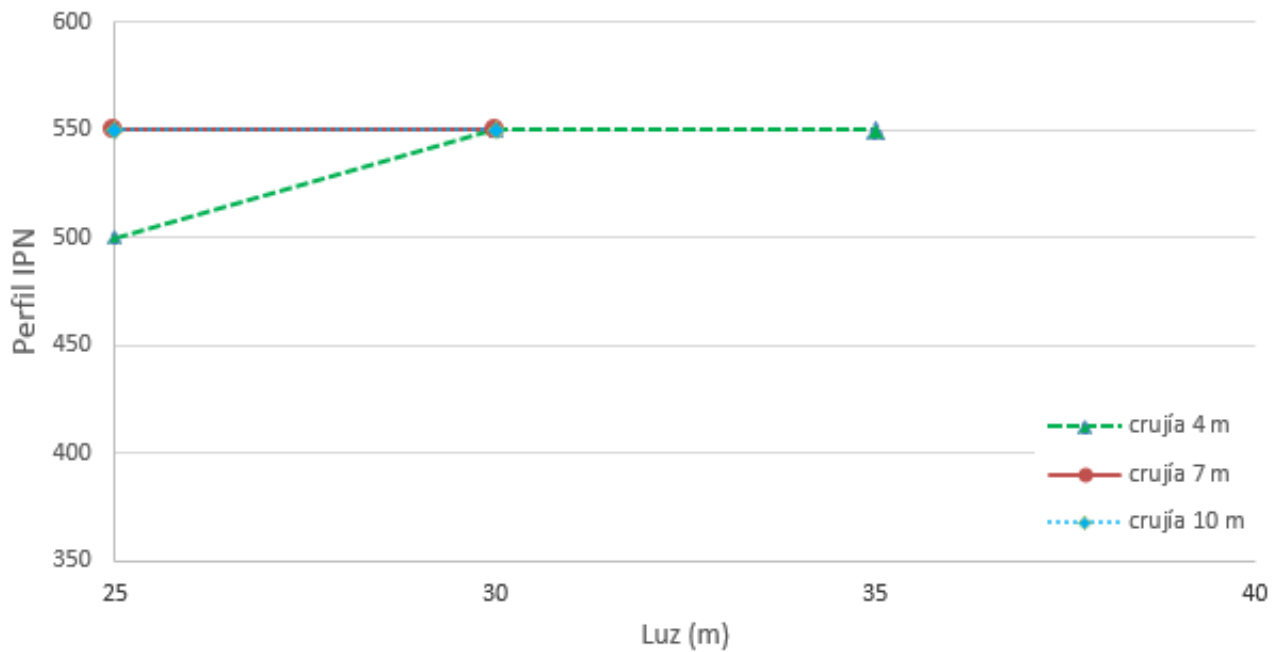


Figura 12. Influencia de la luz sobre la elección del perfil IPN para pilares.

Como se puede apreciar en la Figura 12, el perfil IPN no varía con la luz para cada caso concreto de crujía, excepto para crujía de 4 metros, donde cambia al incrementar la luz de 25 metros a 30 metros.

## Jácnas

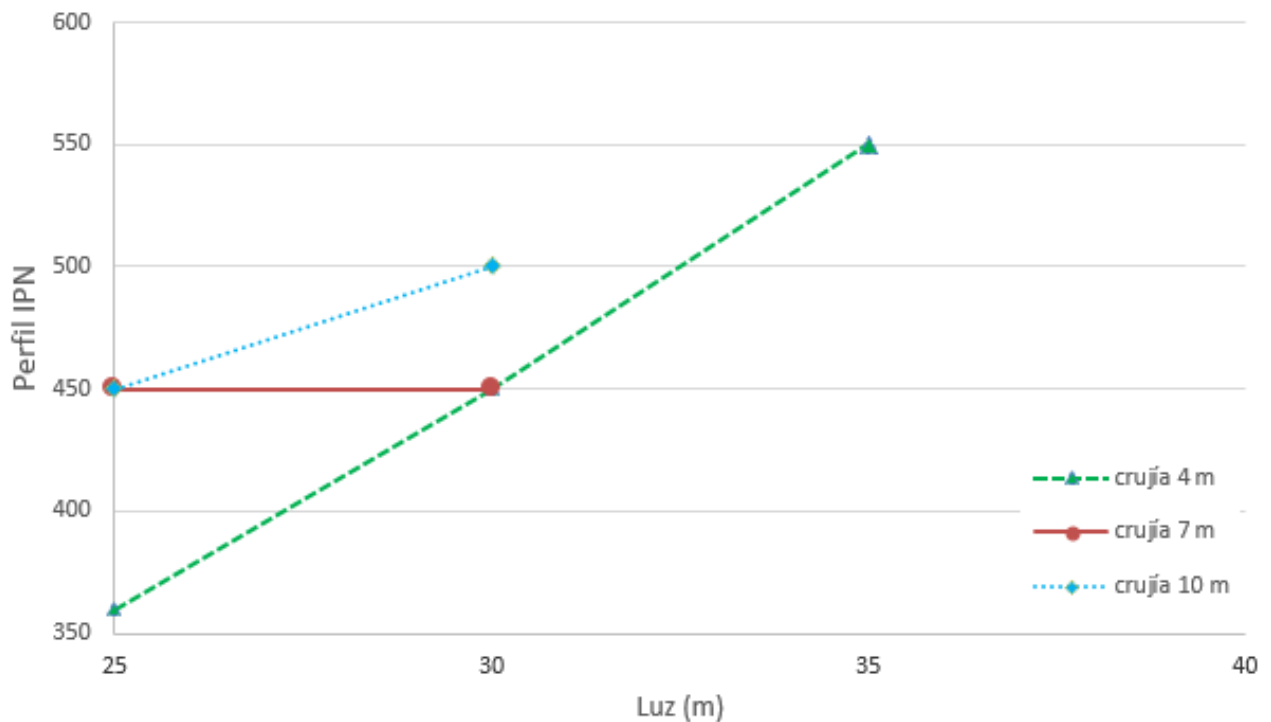


Figura 13. Influencia de la luz sobre la elección del perfil IPN para jácnas.

A diferencia del perfil en los pilares, en las jácenas se observa una progresión lineal del perfil a medida que la luz de la nave varía, tanto para crujiás de 4 metros como para crujiás de 10 metros. Sin embargo, para crujiás de 7 metros, no varía el perfil, siendo necesario un perfil IPN 450 hasta para la luz más baja (25 metros).

Como se aprecia, los perfiles utilizados para los tres casos son mayores a los perfiles IPE, debido a su peor comportamiento frente a flexión. En el primer caso, crujiá de 4 metros, para cada incremento de luz de 5 metros, la flecha obtenida crece tanto que es necesario agrandar el perfil IPN empleado para tener la rigidez necesaria.

En general, se puede ver que en comparación con los perfiles IPE, los perfiles IPN se comportan peor ante esfuerzos de flexión y, por tanto, no soportan luces mayores a 30 metros para crujiás de 7 y 10 metros.

#### 1.7.1.2.4. Influencia de la crujiá

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la crujiá de la estructura para una luz determinada constante.

##### Pilares

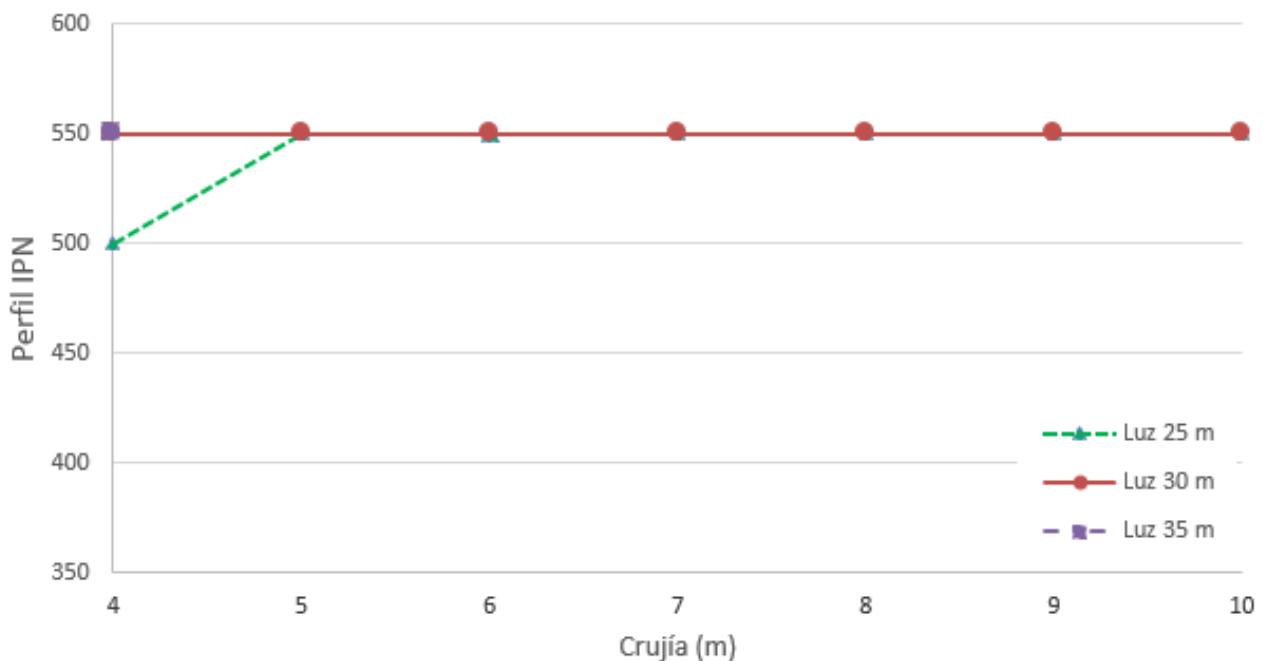


Figura 14. Influencia de la crujiá sobre la elección del perfil IPN para pilares.

Como se puede ver en la Figura 14, la tendencia de los tres casos presentados es de no variar el perfil a pesar de incrementar la crujiá. Esto es debido a que este tipo de perfiles se comporta peor a flexión que los perfiles IPE, por lo que, para cumplir incluso con la primera crujiá, ya se necesita un IPN 550 (uno de los más altos de la serie). Sin embargo, no se ve afectado por el incremento de crujiá, debido a que, para cumplir con la flecha impuesta, requiere un perfil mucho mayor desde el inicio. Esto hace que, para soportar las cargas tributarias,

el perfil cumpla más holgadamente y con más margen y, por tanto, no es necesario subir el perfil con el incremento de la crujía.

### Jácnas

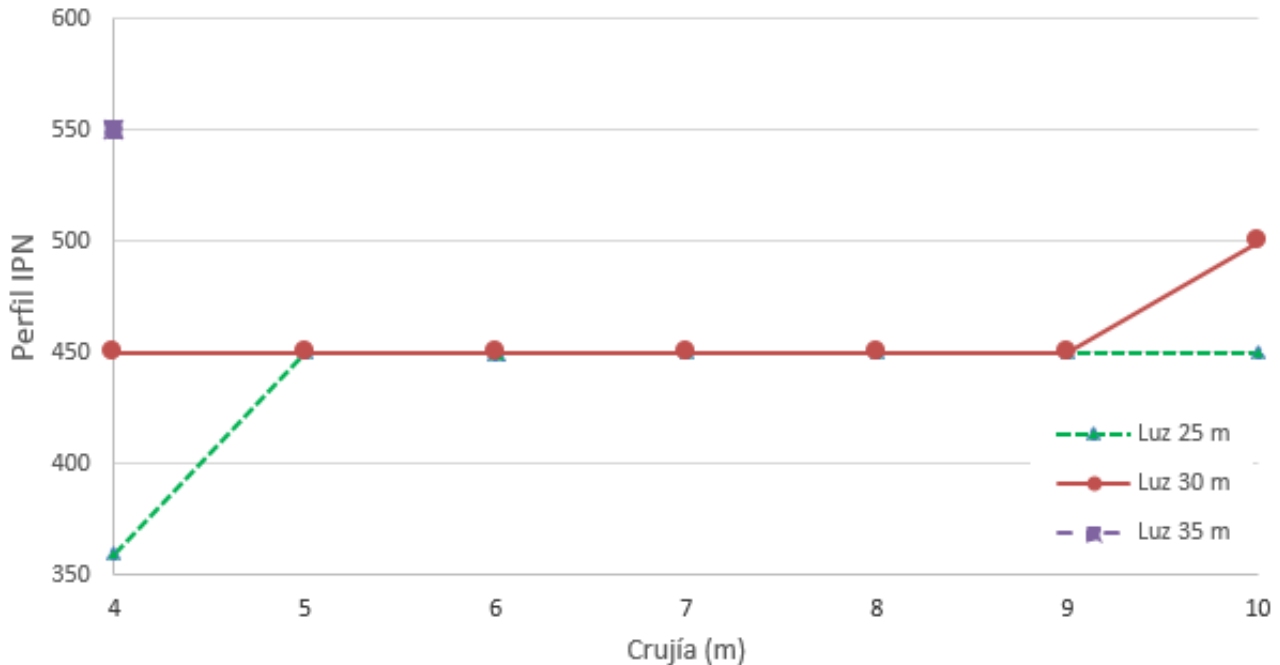


Figura 15. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil IPN para jácnas.

En la Figura 15, se puede observar una tendencia similar a la del apartado anterior. El perfil inicial es bastante elevado (IPN 450) y no varía al ampliar la crujía. Tal y como se ha explicado en el apartado anterior, el perfil IPN se comporta peor a flexión, por lo que, al requerir un perfil tan elevado, el incremento de crujía no le afecta prácticamente. Por este motivo, para el último caso estudiado (luces de 35 metros), se tiene un perfil inicial IPN 550, observando que una subida en la luz es más crítica que el aumento de la crujía.

### 1.7.1.3. HE

#### 1.7.1.3.1. Descripción del perfil

Son perfiles con forma de H, de alas anchas y caras paralelas. Las caras exteriores e interiores de las alas son perpendiculares al alma, por lo que su espesor es constante. Además, las uniones entre las alas y el alma son redondeadas y las aristas de las alas son vivas tal y como se muestra en la Figura anterior 16:

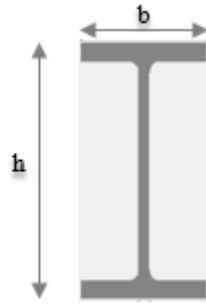


Figura 16. Perfil HE.

Los perfiles del presente estudio son designados por las letras HEB, HEA, seguidas de un número que indica la altura total nominal ( $h$ ) del perfil, expresada en milímetros. El rango de esta serie de perfiles oscila entre HE 100 y HE 1000.

Los perfiles HE empleados en este estudio son:

- Perfil HEB  $\rightarrow$  perfil de alas largas (perfil base). Son perfiles de igual canto total ( $h$ ) que canto del ala ( $b$ ). Para los perfiles de altura nominal del perfil HEB igual o inferior a 300mm, la anchura de las alas ( $b$ ) es igual a la altura  $h$ . Para los perfiles de  $h > 300$ mm, la anchura de las alas es igual a 300mm
- Perfil HEA  $\rightarrow$  perfil de alas aligeradas (más ligero que el HEB). No son perfiles con mismo canto total ( $h$ ) que canto del ala ( $b$ ), sin embargo, es bastante similar. A medida que se incrementa el perfil, la diferencia entre canto total y canto de ala, también le ocurre lo mismo. Para los perfiles de  $h > 300$ mm, la anchura de las alas es igual a 300mm.
- Perfil HEAA  $\rightarrow$  perfil de alas aligeradas (más ligero que el HEA). Son similares a los perfiles HEA, pero al tener menor peso, soportan mejor los esfuerzos a flexión que estos.

Los perfiles HE se definen de acuerdo con las siguientes normas:

- UNE 36524:2018 – Productos de acero. Perfiles HE de alas anchas y alas paralelas de acero laminado en caliente. Dimensiones y masas.
- UNE-EN 10034:1994 – Perfiles I y H de acero estructural. Tolerancias dimensionales y de forma.

### 1.7.1.3.2. Soluciones viables

Para el caso de perfiles HE, se tienen un total de 42 casos en los que el perfil es viable para la geometría propuesta. En la Tabla 5, se pueden apreciar las combinaciones que permite el perfil simple HE para los casos estudiados:



Tabla 5. Combinaciones viables dentro de la familia HE.

	Perfiles HE							
	Luz (m)							
Crujía (m)	25	30	35	40	45	50	55	60
4	x	x	x	x	x	x	x	x
5	x	x	x	x	x	x		
6	x	x	x	x	x	x		
7	x	x	x	x	x	x		
8	x	x	x	x	x	x		
9	x	x	x	x	x			
10	x	x	x	x	x			

Tal y como se observa en la Tabla 5, la distancia de luz máxima que permite el perfil HE es de 60 metros. Además, esto únicamente ocurre cuando la crujía es la mínima estudiada, es decir, de 4 metros.

Por otra parte, se observa que, para el rango de valores de crujía de 5 metros hasta los 8 metros, la luz máxima de la nave se mantiene constante en 50 metros. Para las geometrías más desfavorables, se tiene un valor de luz máxima inferior, siendo este de 45 metros. Por tanto, se puede apreciar una tendencia decreciente en cuanto a luces viables a medida que crece la crujía de la nave.

#### 1.7.1.3.3. Influencia de la luz

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la luz de la estructura para una crujía ( $r$ ) determinada constante. Es importante destacar que, a pesar de que este perfil tiene mayor peso propio que los estudiados anteriormente, da lugar a más soluciones viables. Esto es debido a que los perfiles HE se comportan mejor a compresión que los perfiles IPE y, debido a su tamaño y peso, son capaces de soportar los esfuerzos a flexión para cumplir con la flecha máxima admisible. No obstante, y en línea con lo anteriormente citado, se puede prever que este tipo de perfiles no serán los perfiles óptimos, siguiendo el criterio económico, para luces menores a 40 metros.

## Pilares

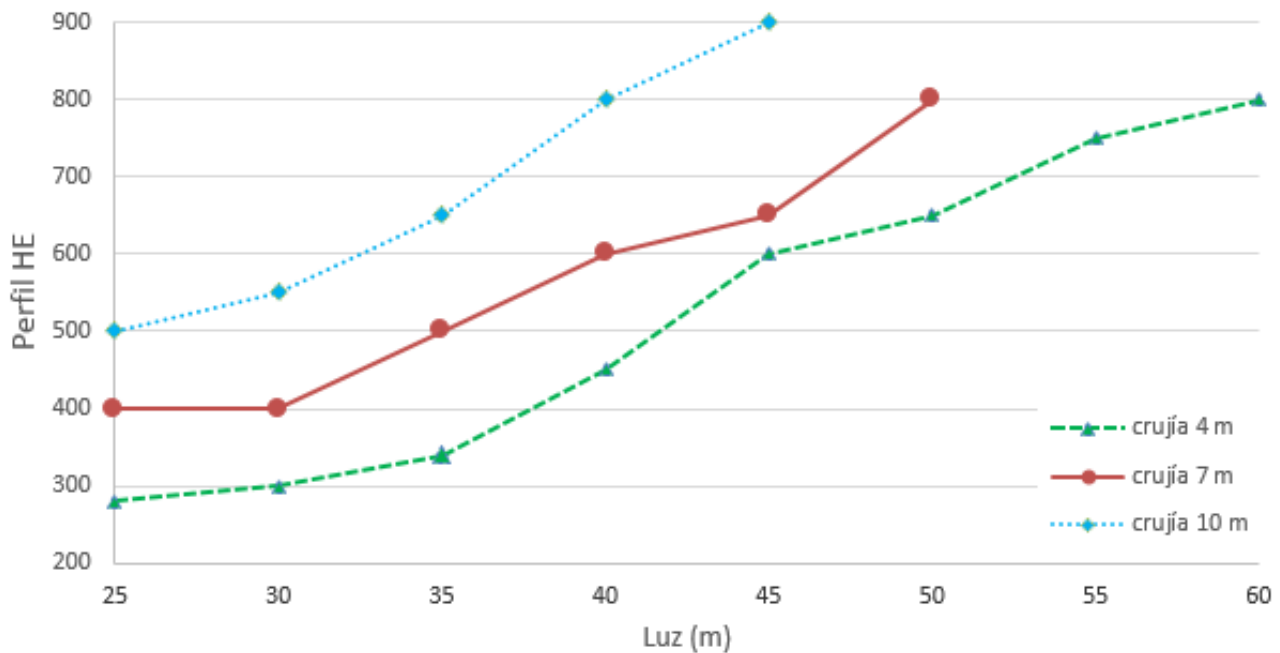


Figura 17. Influencia de la luz sobre la elección del perfil HE para pilares.

Como se puede apreciar en la Figura 17, y tal y como cabía esperar, las tres crujeas estudiadas tienen una progresión creciente a medida que varía la luz de la estructura. Se puede observar un aumento del perfil en los tres casos presentados, obteniendo un perfil HE 900 AA (casi el máximo de la serie) en el caso de crujeas de 10 metros para luces de 45 metros, quedándose las crujeas de 4 y 7 metros, con un perfil máximo HE 800 AA.

A diferencia de los perfiles IPE, incluso el caso más desfavorable (crujía de 10 metros), supera el caso máximo de luz de estos (incluso para crujeas de 4 metros). Esto se debe a que el perfil, teniendo mayor peso soportan los esfuerzos a flexión impuestos.

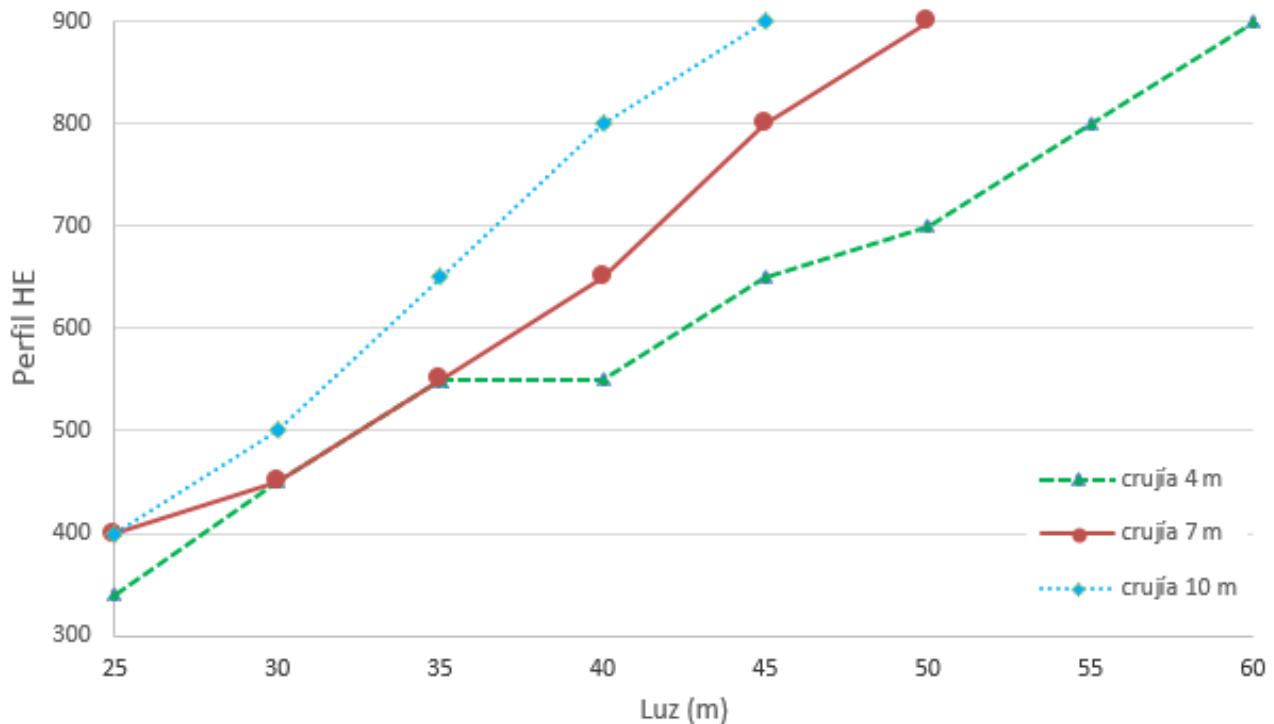
**Jácnas**

Figura 18. Influencia de la luz sobre la elección del perfil HE para jácnas.

A diferencia del perfil en los pilares, en las jácnas se observa una progresión mucho más pronunciada en las tres crujías presentadas. Para la crujía de 4 metros, la pendiente es mucho mayor para luces de 25 metros a 35 metros, contrariamente que en el perfil de los pilares (donde la zona de mayor crecimiento del perfil era entre los 35 y los 45 metros). Esto es debido a que los perfiles HE trabajan mejor a compresión que a flexión, por tanto, la jácena es más sensible al aumento de la luz que los pilares.

Como se puede observar, este tipo de perfil soportan grandes luces, tanto en pilares como en jácnas, sin embargo, esto se consigue con perfiles que tienen un peso muy elevado y que, por tanto, nunca podrán ser los perfiles escogidos para luces bajas, donde los perfiles IPE se comportan mejor con menos peso.

Por su parte, tanto la crujía de 7 metros, como la crujía de 10 metros, tienen un crecimiento muy pronunciado del perfil a medida que avanza la luz de la nave, sin obtener ni un perfil similar al anterior con luces distintas, lo que significa que, para cumplir con la flecha límite en cada caso, es necesario agrandar el perfil HE continuamente.

#### 1.7.1.3.4. Influencia de la crujía

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la crujía de la estructura para una luz determinada constante. Como se ha observado anteriormente, la luz máxima viable

de la nave puede ser de hasta 60 metros para una crujía de 4 metros. Sin embargo, para esta comparativa, los casos estudiados serán con luces de 25, 40 y 50 metros.

### Pilares

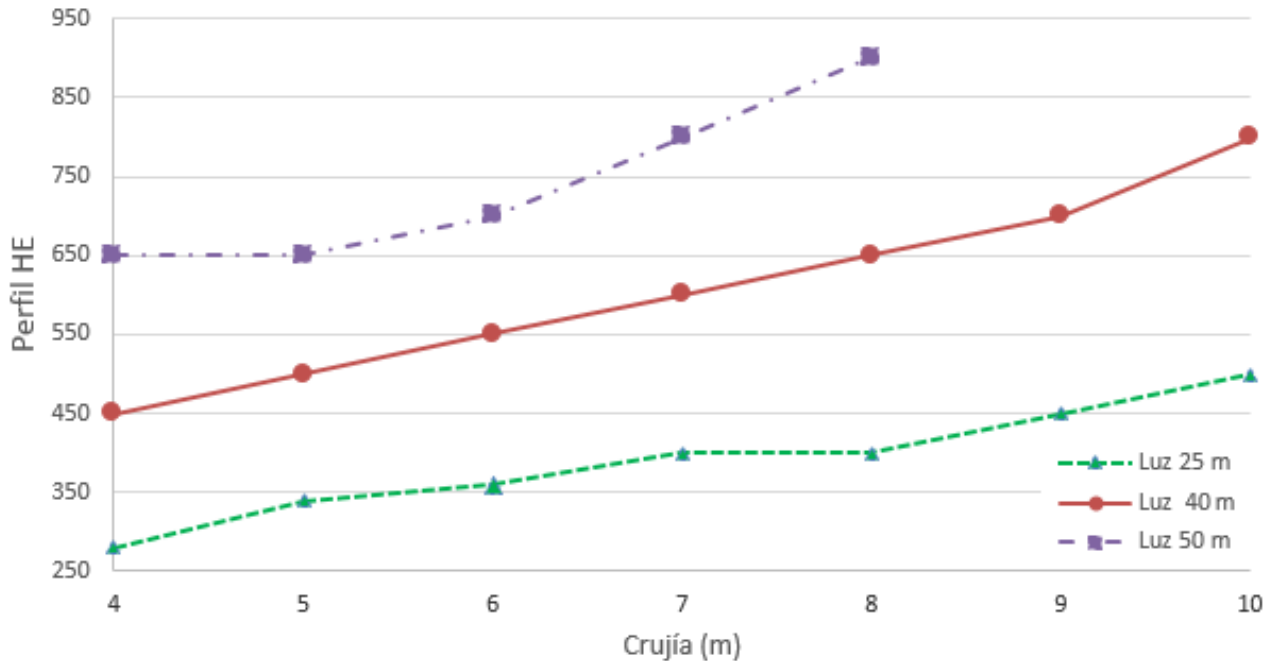


Figura 19. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HE para pilares.

Al ampliar la crujía, el perfil elegido crece de manera progresiva para todos los casos. Para luces de 25 y 40 metros, la progresión del perfil es prácticamente lineal y con una pendiente relativamente baja, lo que supone un incremento de un salto (en la serie de perfiles) únicamente al aumentar la crujía.

A mayor crujía, mayor es el esfuerzo de compresión sobre los pilares. Por ello, debido al buen comportamiento a compresión de los perfiles HE, se observa ese aumento progresivo y no con cambios bruscos en la serie de los mismos.

### Jácnas

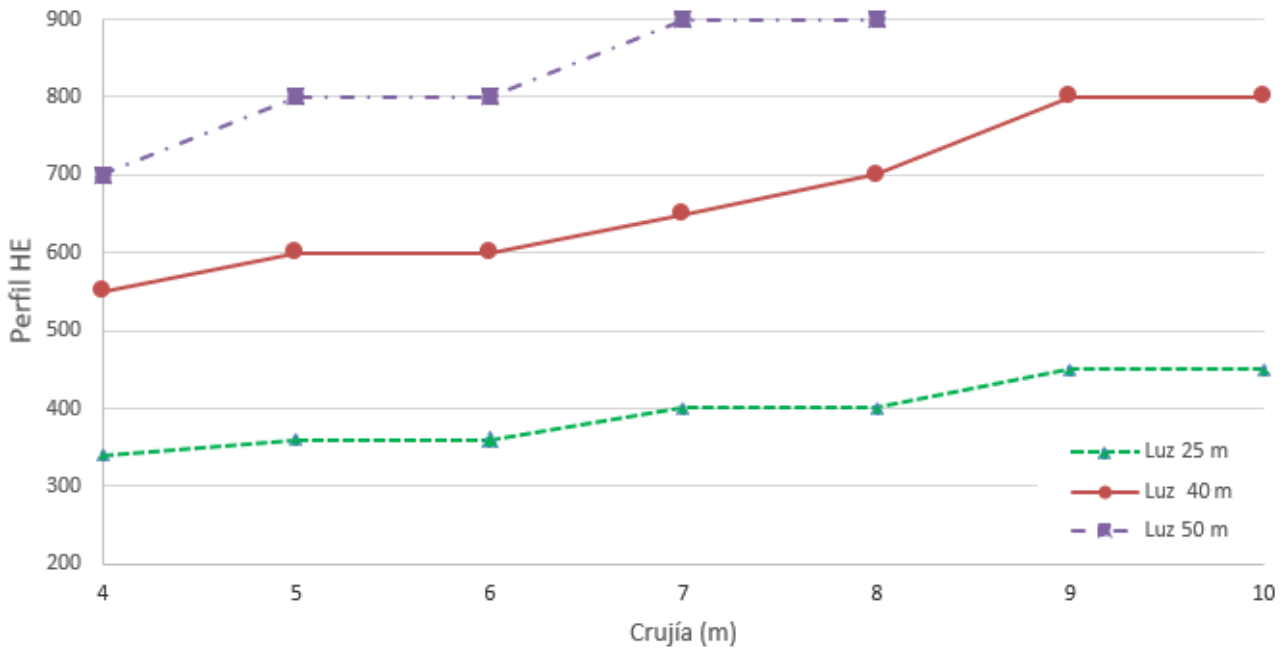


Figura 20. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HE para jácnas.

En la Figura 20, se observa como el perfil es dependiente de la crujía, para todos los casos. De manera similar a la tendencia de los pilares, la tendencia es creciente, pero con un perfil relativamente parecido en todo el estudio. Esto, como se ha comentado anteriormente, es debido a que el incremento de la crujía no incrementa sustancialmente los esfuerzos de flexión (mayor flecha), que es el comportamiento limitante de este tipo de perfiles. Por tanto, con un rango de perfiles bastante acotado, se puede cumplir con las exigencias de mayor crujía.

#### 1.7.1.4. HD

##### 1.7.1.4.1. Descripción del perfil

Los perfiles HD son perfiles de alas anchas. Se trata de perfiles que soportan los esfuerzos de compresión de una manera muy eficiente, por ello, son comúnmente empleados en pilares. Su forma es similar a la de la familia mencionada anteriormente (HE), tal y como se observa en la figura 21:

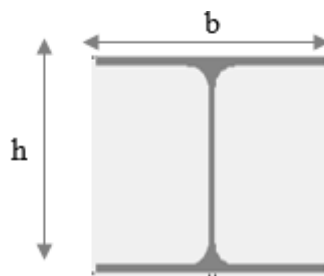


Figura 21. Perfil HD.

El rango de perfiles HD va desde HD 260 x 54.1 hasta perfiles HD 400 x 1086. Como se puede apreciar, la serie de este tipo de perfiles se nombra de manera diferente a los anteriores, siendo el primer número mostrado el canto en mm (h) del mismo y, el segundo número del perfil hace referencia al peso por metro, mostrando el peso en kilogramos. Sin embargo, el canto del perfil está relacionado con el peso por metro del mismo, lo cual significa que, para saber el canto de los perfiles HD, se tendrán que tener en cuenta ambos números. Para el presente estudio, se hará referencia siempre al perfil según el canto del mismo.

Por otro lado, como se comprobará más adelante, se trata de perfiles empleados en pilares. Por ello, el cálculo de esbeltez lo cumple en la mayoría de los casos estudiados, no obstante, el cálculo para la jácena de radio de giro, deja de cumplir inicialmente.

Los perfiles HD se definen de acuerdo con la siguiente norma:

- UNE - EN 10365: 2018: Perfiles en U, en I y en H de acero laminado en caliente. Dimensiones y masas.

#### 1.7.1.4.2. Soluciones viables

Para el caso de los perfiles HD, se reducen las soluciones viables a un total de 21. En la Tabla 6 se pueden comprobar las combinaciones posibles para dicho perfil en función de la geometría de la nave:

Tabla 6. Combinaciones viables dentro de la familia HD.

	Perfiles HD							
	Luz (m)							
Crujía (m)	25	30	35	40	45	50	55	60
4	x	x	x					
5	x	x	x					
6	x	x	x					
7	x	x	x					
8	x	x	x					
9	x	x	x					
10	x	x	x					

Tal y como se observa en la Tabla 6, la distancia de luz máxima que permite el perfil HD es de 35 metros, y, además, es similar para todas las crujías. Eso significa que la variación de la crujía, dentro de los límites del presente estudio, no implica una variación en la luz de la estructura.

#### 1.7.1.4.3. Influencia de la luz

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la luz de la estructura para una crujía (r) determinada constante.

## Pilares

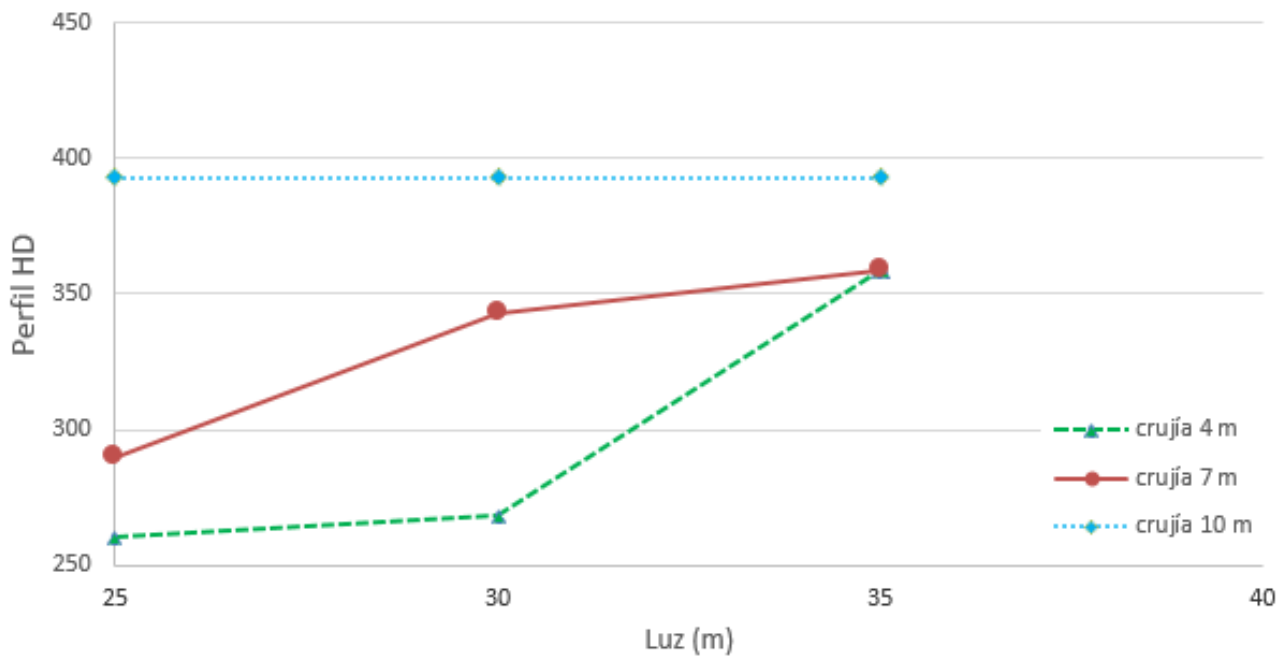


Figura 22. Influencia de la luz sobre la elección del perfil HD para pilares.

Se observa un agrandamiento del canto del perfil a medida que aumenta la luz de la nave. Dicha pendiente es poco apreciable inicialmente, pero al subir la luz de 30 metros a 35 metros, la pendiente es más severa. Esto indica que este tipo de perfiles es muy sensible a la variación de la luz de la estructura. No obstante, este efecto no se aprecia del mismo modo en el tercer caso (crujías de 10 metros), debido a que el perfil inicial es casi el máximo de la serie, por lo que, al empezar con un perfil tan elevado, cumple los siguientes casos con dicho perfil. Sin embargo, se aprecia que la luz máxima que soporta es de 35 metros, corroborando que su punto fuerte no es el trabajo a flexión.

## Jácnas

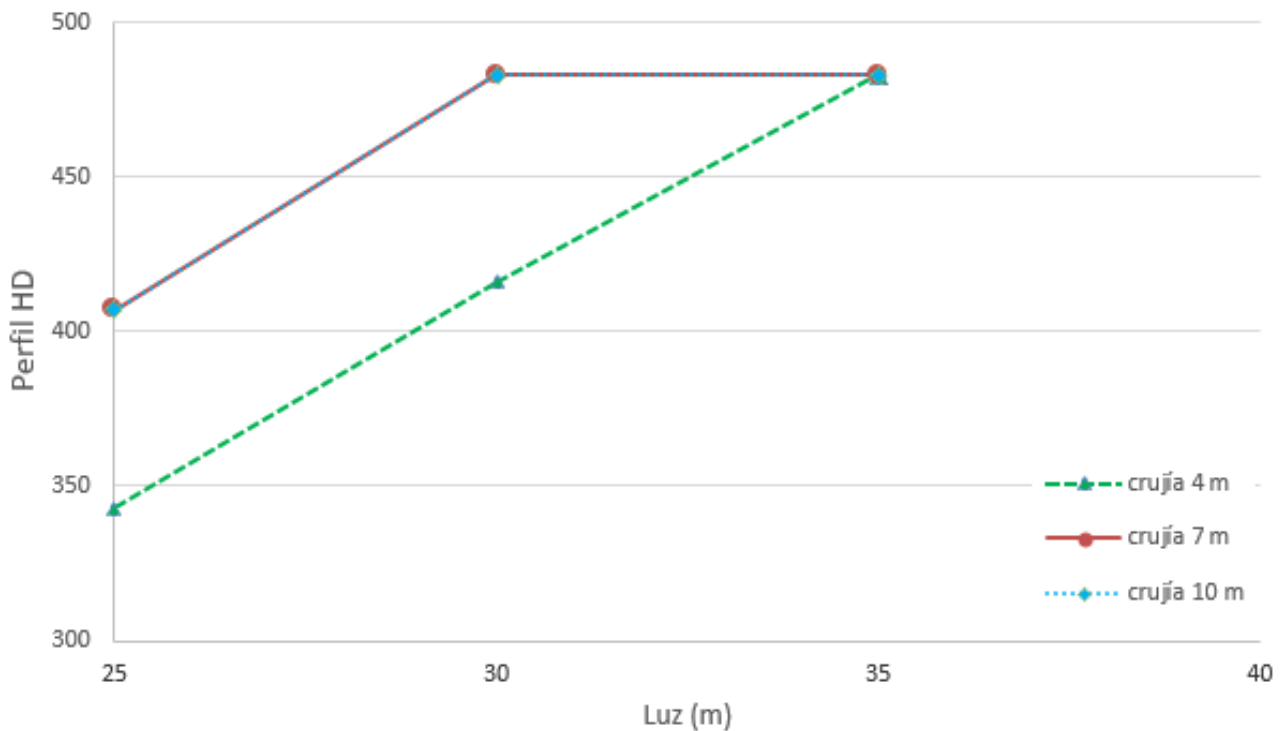


Figura 23. Influencia de la luz sobre la elección del perfil HD para jácnas.

En la figura 23, se puede apreciar que el aumento del perfil es muy elevado para las tres crujías al incrementar la luz, lo que indica que estos perfiles trabajan peor a flexión y que, por tanto, para cumplir con la flecha máxima admisible, es necesario agrandar considerablemente el perfil seleccionado.

### 1.7.1.4.4. Influencia de la crujía

Siguiendo la línea de los apartados anteriores, se analiza la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la crujía de la estructura para una luz determinada constante.



## Pilares

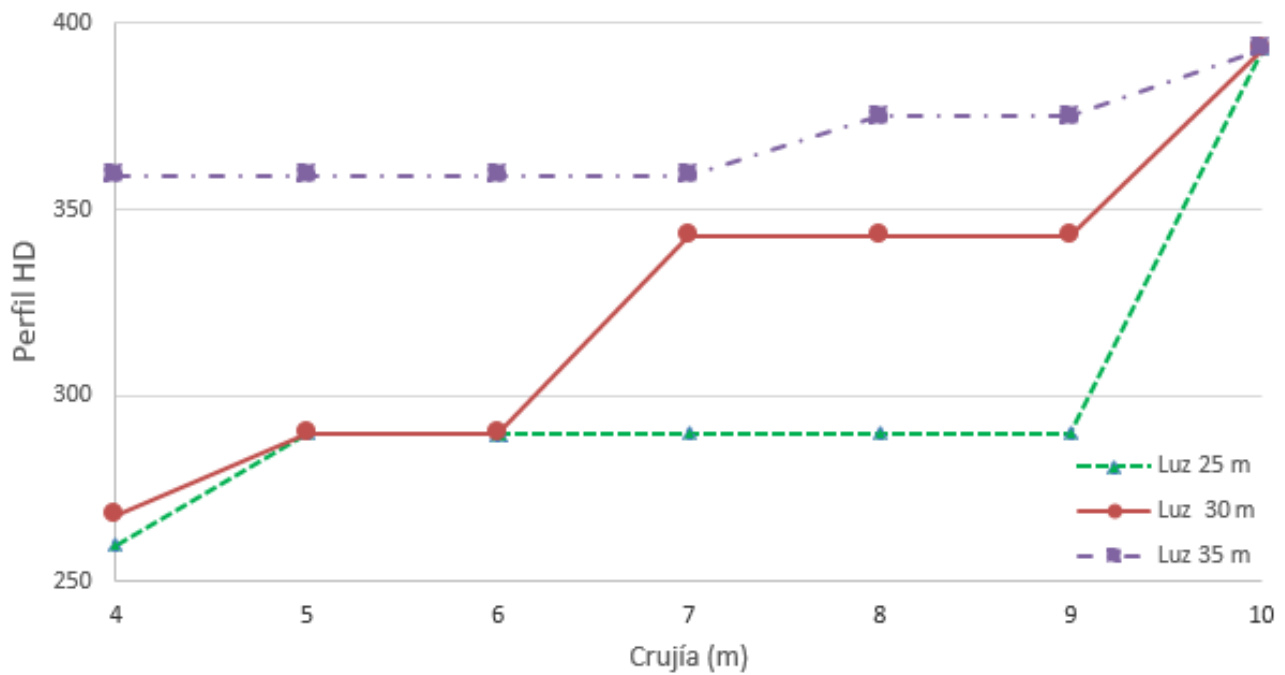


Figura 24. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HD para pilares.

Como se puede ver en la Figura 24, de manera general el perfil HD de los pilares no es muy sensible a la variación de crujía. Esto es debido a que este tipo de perfiles trabajan mejor a compresión que a flexión, por lo que, al aumentar la crujía no son los esfuerzos de flexión los que más crecen y, por tanto, no es necesario incrementar para cada salto de crujía.

## Jácnas

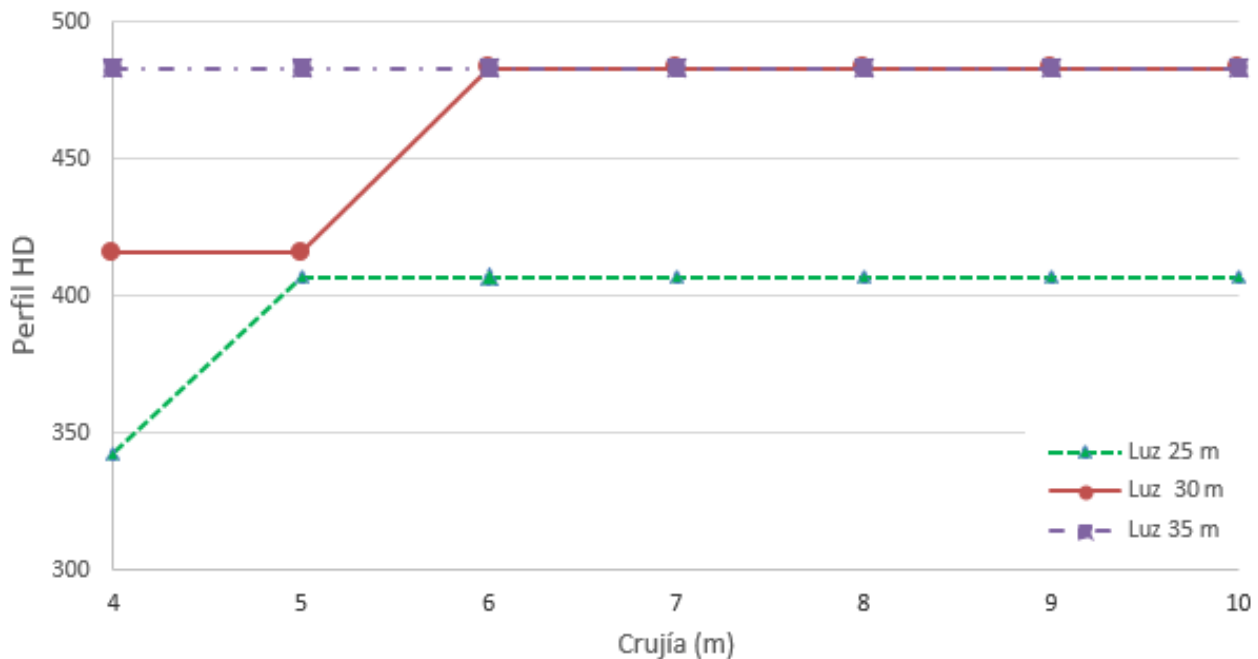


Figura 25. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HD para jácnas.

Para el caso de las jácnas, la influencia de las crujías en el perfil necesario es muy baja, contrariamente a lo observado para la variación de la luz.

Como se puede observar, la demanda del perfil aumenta considerablemente para el caso inicial de crujía de 4 metros, según la luz de la nave, llegando incluso a obtener un perfil cercano al perfil máximo de la serie para luces de 35 metros y crujías de 4 metros.

### 1.7.1.5. HP

#### 1.7.1.5.1. Descripción del perfil

Los perfiles HP son similares a los perfiles HD, con las alas dando forma de H y con las caras paralelas. De este modo, se comportan mejor ante esfuerzos de compresión que a flexión y, por tanto, son mayormente empleados para elementos que, aunque estén sometidos a flexión también soportan esfuerzos de compresión importantes.

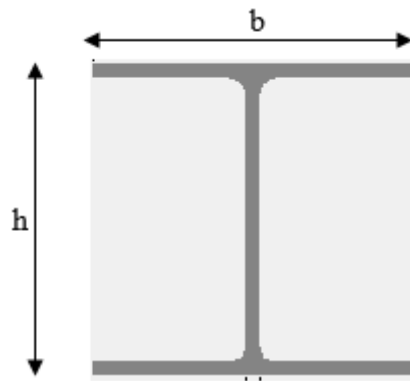


Figura 26. Perfil HP.

El rango de perfiles HP abarca desde HP 200 x 43 hasta perfiles HP 400 x 231. Como se puede apreciar, tienen una nomenclatura similar a los perfiles anteriores (perfiles HD). El presente estudio hará referencia siempre al canto del perfil para denominar el mismo.

A pesar de su parecido con los perfiles mencionados anteriormente, los perfiles HP tienen un mayor peso. Esta característica implica que su comportamiento para su uso en las jácenas de la nave sea más desfavorable que los anteriores.

Los perfiles HP se definen de acuerdo con la siguiente norma:

- UNE - EN 10365: 2018: Perfiles en U, en I y en H de acero laminado en caliente. Dimensiones y masas.

#### 1.7.1.5.2. Soluciones viables

El caso de los perfiles HP es el más reducido del estudio, debido a que únicamente cumple para luces de 25 metros, con lo cual se obtienen un total de 7 casos de análisis. En la Tabla 7, se pueden apreciar las combinaciones que permite el perfil simple HP:

Tabla 7. Combinaciones viables dentro de la familia HP.

Crujía (m)	Perfiles HP							
	Luz (m)							
	25	30	35	40	45	50	55	60
4	x							
5	x							
6	x							
7	x							
8	x							
9	x							
10	x							

Tal y como se observa en la Tabla 7, independientemente de la crujía que se escoja, la luz máxima que permiten este tipo de perfiles es de 25 metros. Esto es debido al gran peso que tienen los propios perfiles hace que su comportamiento frente a esfuerzos de flexión sea muy bajo.

### 1.7.1.5.3. Influencia de la luz

En este caso concreto, debido a que únicamente cumple con una luz (25 metros), no es viable observar la influencia de la luz sobre la estructura. Por tanto, se estudiará directamente la influencia de la crujía sobre el perfil. No obstante, es importante mencionar que, el hecho de que únicamente cumpla con una luz de 25 metros, ya es, un reflejo del mal comportamiento de los perfiles HP frente a esfuerzos de flexión.

### 1.7.1.5.4. Influencia de la crujía

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la crujía de la estructura para una luz determinada constante. Como se ha observado anteriormente, la única luz que cumple es la luz de 25 metros, por lo que el estudio se centrará en la variación de la crujía para dicha luz.

#### Pilares

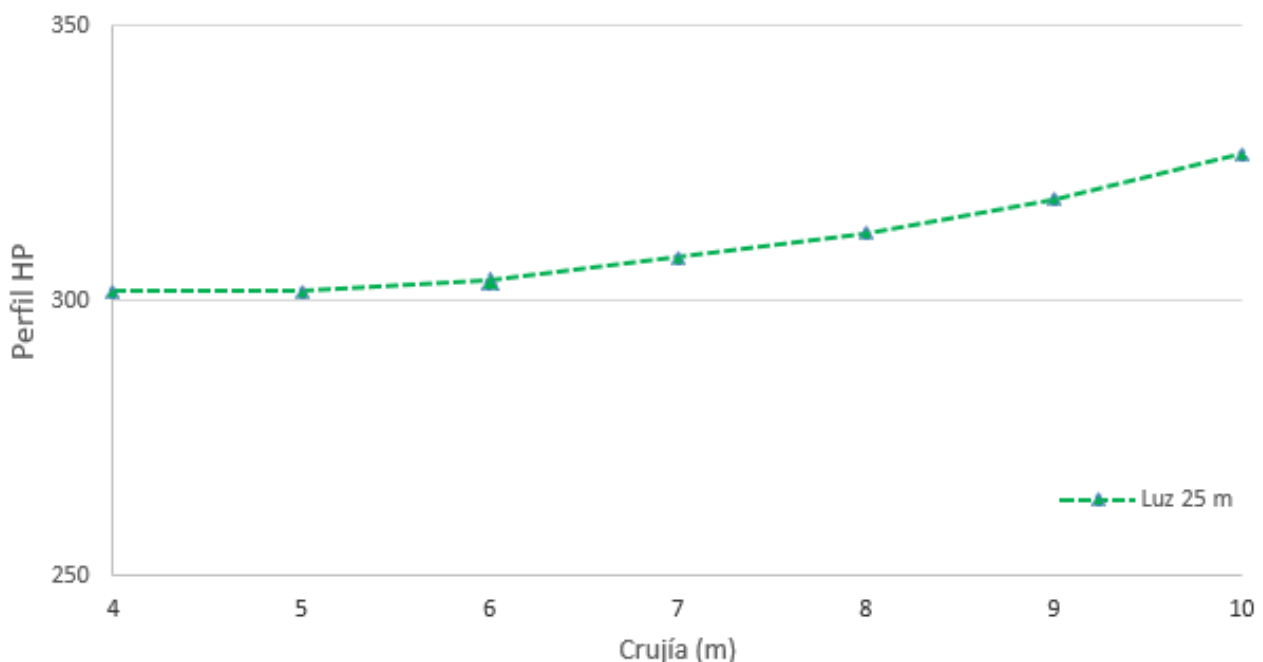


Figura 27. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HP para pilares.

A medida que va variando la crujía, se observa como el perfil aumenta muy lentamente, es decir, tiene poca influencia el aumento de crujía respecto al perfil necesario. Es la demanda de perfil para soportar la flexión la limitante.

## Jácnas

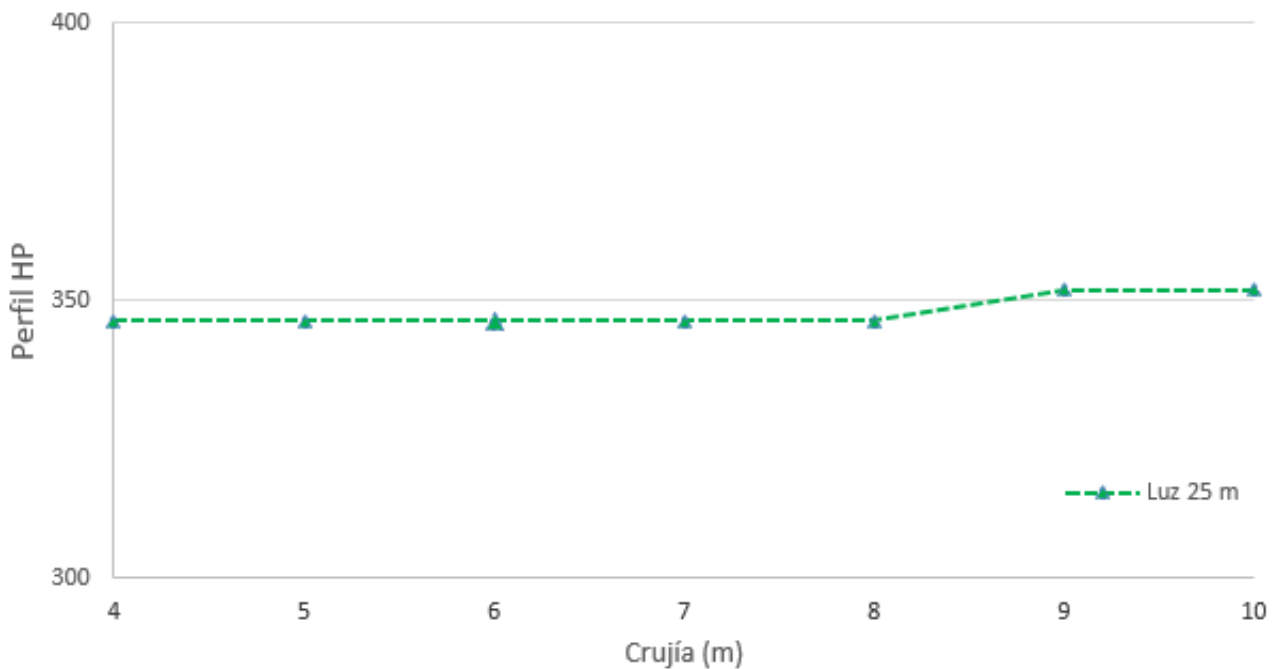


Figura 28. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HP para jácnas.

En la Figura 28, el perfil empleado para la menor luz estudiada (25 metros) es uno de los más elevados de la serie, lo que implica que, para cumplir con la flecha impuesta, incluso en el primer caso, ya es necesario un perfil muy elevado. Además, se observa como el canto del perfil de las jácnas no tiene apenas variación, por lo que se comprueba cómo el aumento de crujía apenas afecta al perfil necesario.

### 1.7.1.6. HL

#### 1.7.1.6.1. Descripción del perfil

La familia de perfiles HL tienen forma de H con alas extra anchas. Esta peculiaridad permite que soporten grandes esfuerzos de compresión y de flexión, como se verá en los siguientes apartados.

A continuación, se muestra el perfil HL, similar a los anteriores perfiles de la misma familia:

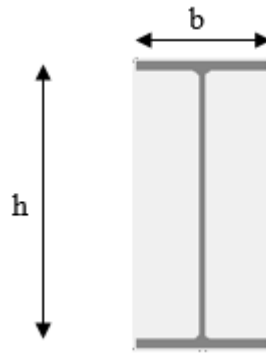


Figura 29. Perfil HL.

La serie de este tipo de perfiles va desde perfiles HL 920 x 344 hasta HL 1100 x 607. Se puede apreciar que la nomenclatura es igual que para los perfiles anteriores (HD y HP). Por tanto, sigue la misma línea que los anteriores, sin embargo, se puede apreciar que el perfil mínimo de estos perfiles es casi mayor que el máximo de los anteriores.

Los perfiles HL se comportan excelentemente para grandes luces (de 60 metros), es por ello que, para la mayoría de casos estudiados, el perfil mínimo HL cumple con todas las exigencias holgadamente.

Sin embargo, para luces pequeñas, de 25 hasta 40 metros, son perfiles demasiado pesados que, cumplen con las exigencias requeridas, pero que su propio peso los hace inviables económicamente.

Por tanto, este tipo de perfiles es óptimo para estructuras con muchas más cargas y de geometrías mucho mayores a las estudiadas.

#### 1.7.1.6.2. Soluciones viables

Los perfiles HL cuentan con el mayor número de soluciones viables del presente estudio. En la Tabla 8 se puede apreciar que cumplen todas las geometrías, obteniendo un total de 56 casos:

Tabla 8. Combinaciones viables dentro de la familia HL.

	Perfiles HL							
	Luz (m)							
Crujía (m)	25	30	35	40	45	50	55	60
4	x	x	x	x	x	x	x	x
5	x	x	x	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x	x	x	x
7	x	x	x	x	x	x	x	x
8	x	x	x	x	x	x	x	x
9	x	x	x	x	x	x	x	x
10	x	x	x	x	x	x	x	x

Tal y como se observa en la Tabla 8, este perfil abarca todas las combinaciones posibles trabajadas en el presente estudio. Como se ha comentado anteriormente, se trata de perfiles que trabajan muy bien con grandes cargas y geometrías mucho mayores a las estudiadas.

### 1.7.1.6.3. Influencia de la luz

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la luz de la estructura para una crujía ( $r$ ) determinada constante.

#### Pilares

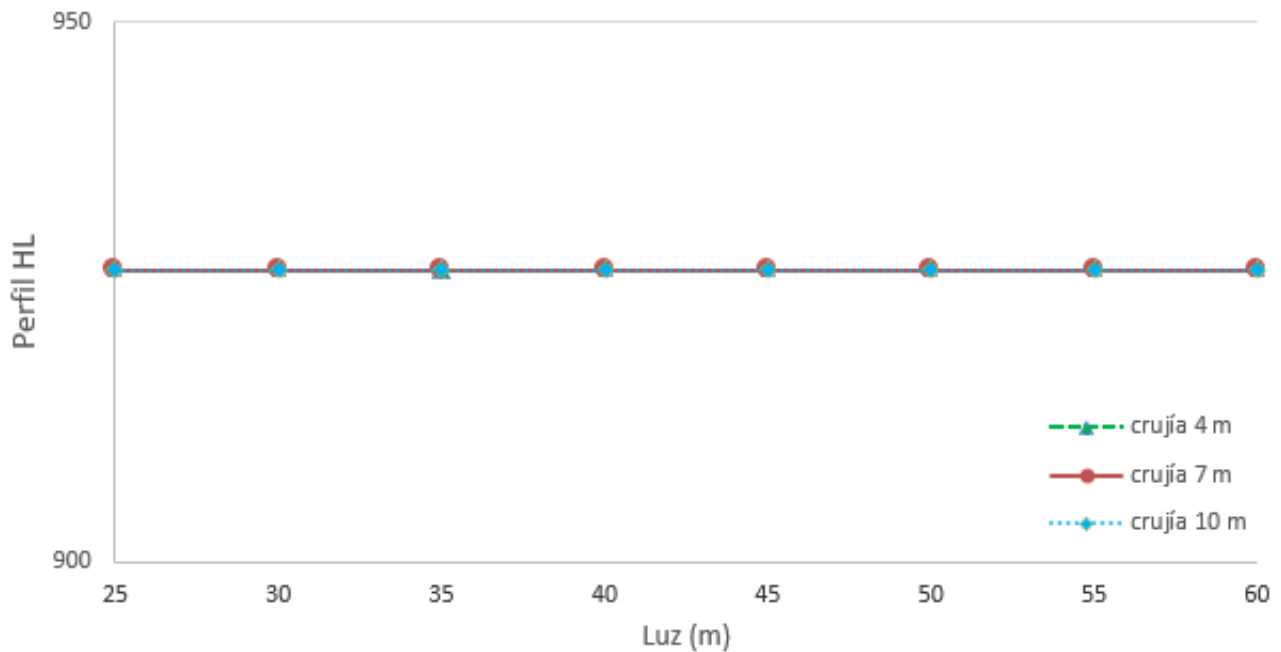


Figura 30. Influencia de la luz sobre la elección del perfil HL para pilares.

Se observa en la Figura 30 que el perfil mínimo de esta serie cumple con todas las solicitaciones requeridas. Por tanto, los perfiles HL cumplen holgadamente con todas las comprobaciones.

### Jácnas

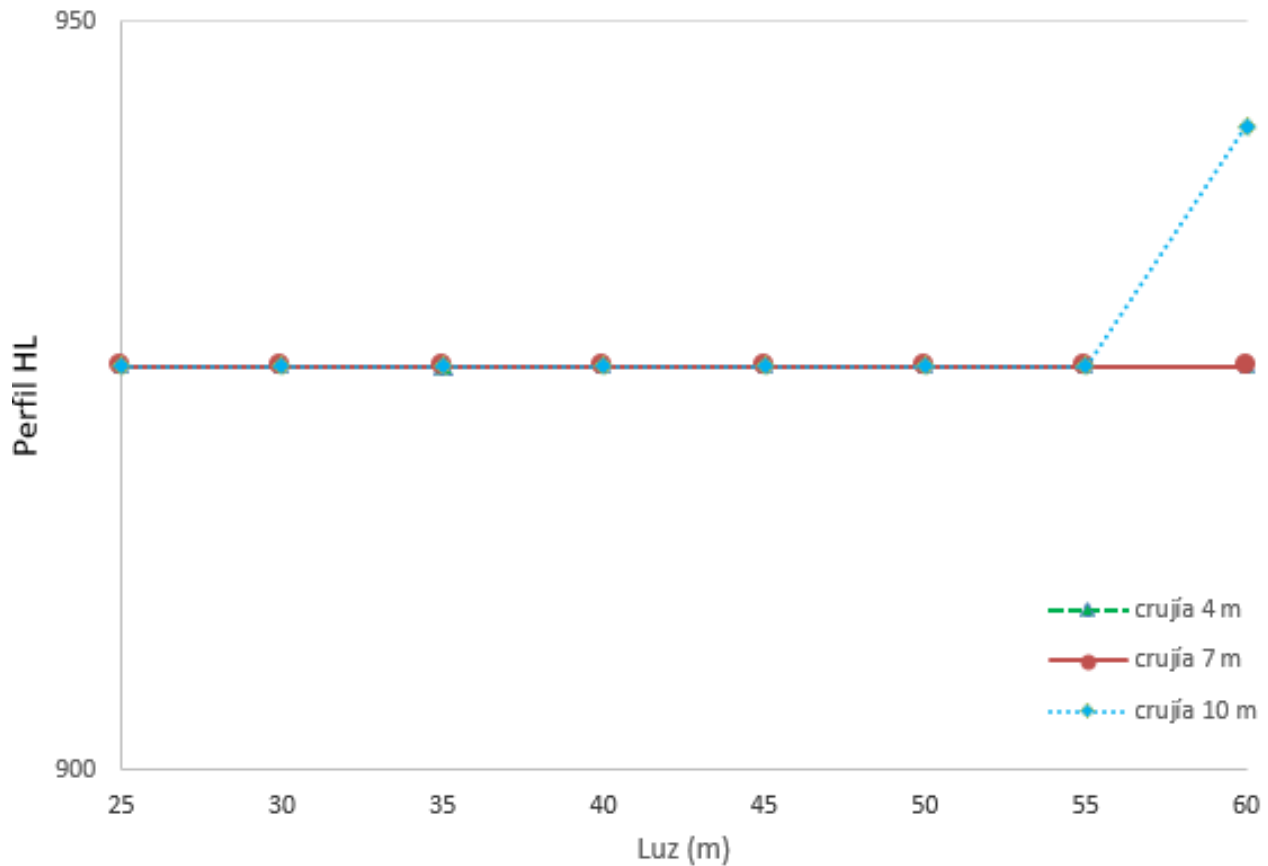


Figura 31. Influencia de la luz sobre la elección del perfil HL para jácnas.

Tal y como se puede apreciar en la figura 31, ocurre lo mismo que para los pilares. El perfil mínimo de esta serie cumple con todas las solicitaciones requeridas, excepto para el caso más desfavorable estudiado, luces de 60 metros y crujías de 10 metros. Sin embargo, este hecho resulta poco relevante para el presente estudio dadas las dimensiones de estos perfiles.

#### 1.7.1.6.4. Influencia de la crujía

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la crujía de la estructura para una luz determinada constante.



### Pilares

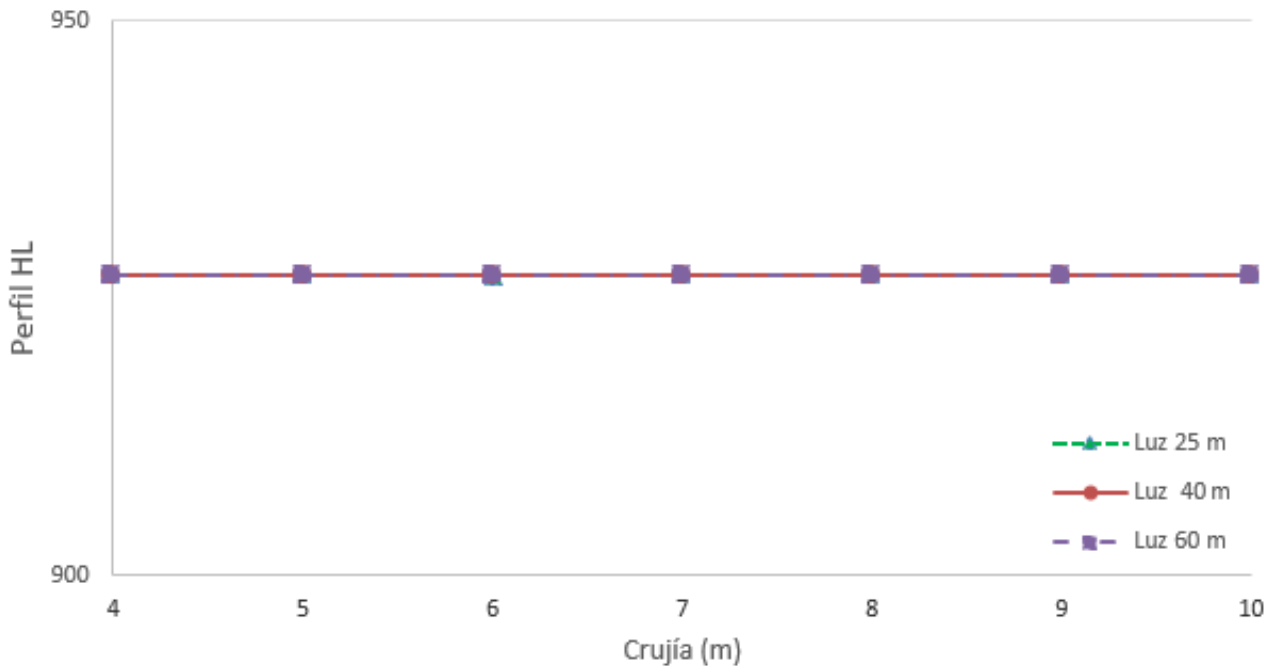


Figura 32. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HL para pilares.

Como se puede ver en la Figura 32, el aumento de la crujía, tampoco afecta al perfil elegido para los pilares. Como anteriormente, el perfil mínimo HL, cumple todos los requerimientos establecidos. Por ello, se observa una pendiente nula para todos los casos estudiados, lo que significa que su perfil permanece constante.

### Jácnas

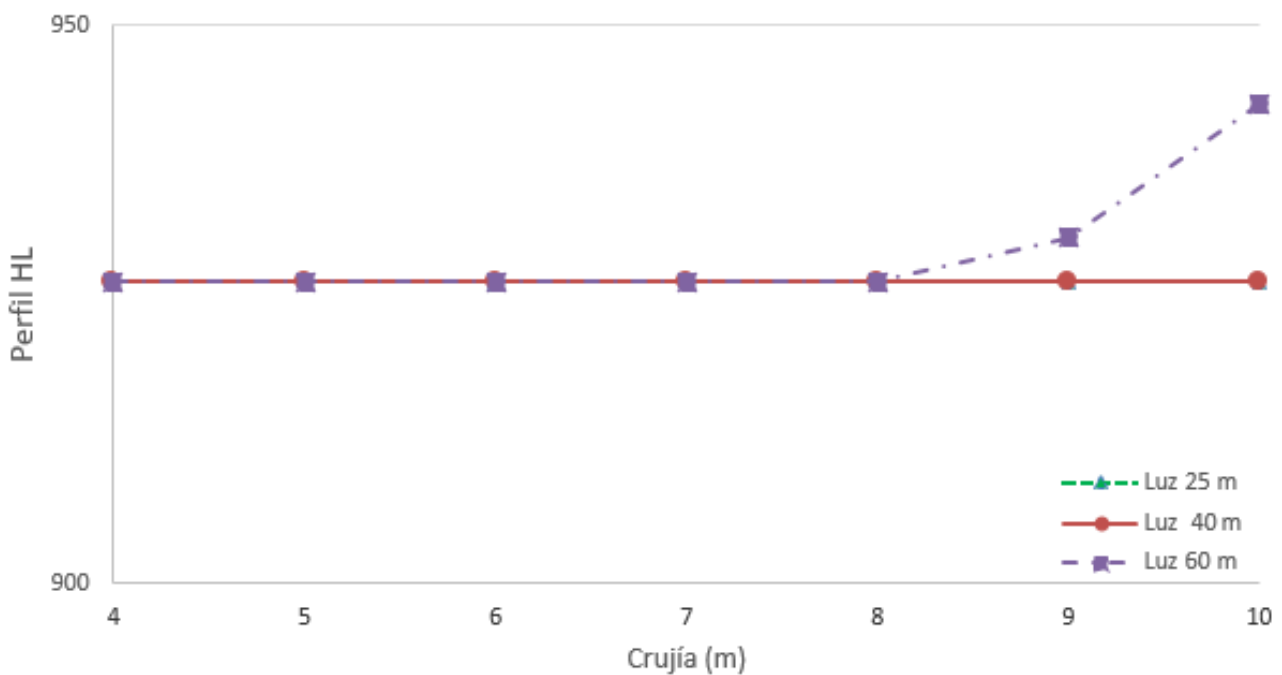


Figura 33. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil HL para jácnas.

En la Figura 33, se observa como para las luces de 25 metros y 40 metros, el perfil mínimo HL cumple con todos los casos de estudio. No obstante, cabe destacar que para luces de 60 metros (las más grandes estudiadas), el perfil mínimo cumple hasta crujiás de 8 metros. A partir de este valor, el perfil obtenido aumenta ligeramente, para amplificar su pendiente en el último tramo (crujiá de 9 metros a 10 metros). Este cambio es poco relevante para el estudio, debido a que el presente estudio no va más allá de luces de 60 metros, donde la demanda del perfil HL empieza a incrementarse.

Este perfil cumple sobradamente los requisitos impuestos en la estructura con el menor perfil de la serie HL, por lo tanto, se trata de una solución inviable con respecto al aspecto económico.

## 1.7.2. Vigas alveoladas

Este tipo de viga aligerada se caracterizan por tener huecos en el alma de la misma. Además, se trata de vigas de mayor canto, por lo que son más rígidas. Debido a esto, se utilizan cuando se requieren luces grandes y peso propio bajo (polideportivos, pasarelas...), ya que soportan mejor los esfuerzos a flexión que los esfuerzos cortantes.

Cabe destacar que, adicionalmente a las ventajas de aumento de rigidez, módulo resistente y disminución de flecha, es interesante instalar este tipo de vigas debido al espacio que se puede ahorrar al permitir pasar conductos e instalaciones por los huecos de las mismas.

### 1.7.2.1. Tipo Boyd

#### 1.7.2.1.1. Descripción del perfil

Las vigas tipo Boyd son elementos constructivos fabricados a partir de una viga laminada con perforaciones en su alma de forma hexagonal, como se puede observar en la siguiente Figura 34:



Figura 34. Viga tipo Boyd.

#### 1.7.2.1.1. Soluciones viables

Las vigas tipo Boyd cuentan con un número similar de soluciones al del perfil IPE. En la Tabla 9, se pueden apreciar las combinaciones que permiten las vigas tipo Boyd para los casos estudiados, obteniendo un total de 23 casos a analizar:

Tabla 9. Combinaciones viables dentro de las vigas tipo Boyd.

Crujía (m)	Vigas tipo Boyd							
	Luz (m)							
	25	30	35	40	45	50	55	60
4	x	x	x	x				
5	x	x	x	x				
6	x	x	x	x				
7	x	x	x					
8	x	x	x					
9	x	x	x					
10	x	x						

Tal y como se observa en la Tabla 9, las vigas tipo Boyd soportan como máximo una luz de 40 metros. Esta luz máxima se da para los tres primeros casos de estudio, y luego disminuye de manera progresiva a medida que aumenta la crujía, hasta llegar a un valor de 30 metros de luz máxima para una crujía de 10 metros.

#### 1.7.2.1.2. Influencia de la luz

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección de la viga tipo Boyd la variación de la luz de la estructura para una crujía ( $r$ ) determinada constante. Como se ha observado en el apartado anterior, las combinaciones donde la luz es superior a 40 metros no son soluciones viables.

#### Pilares

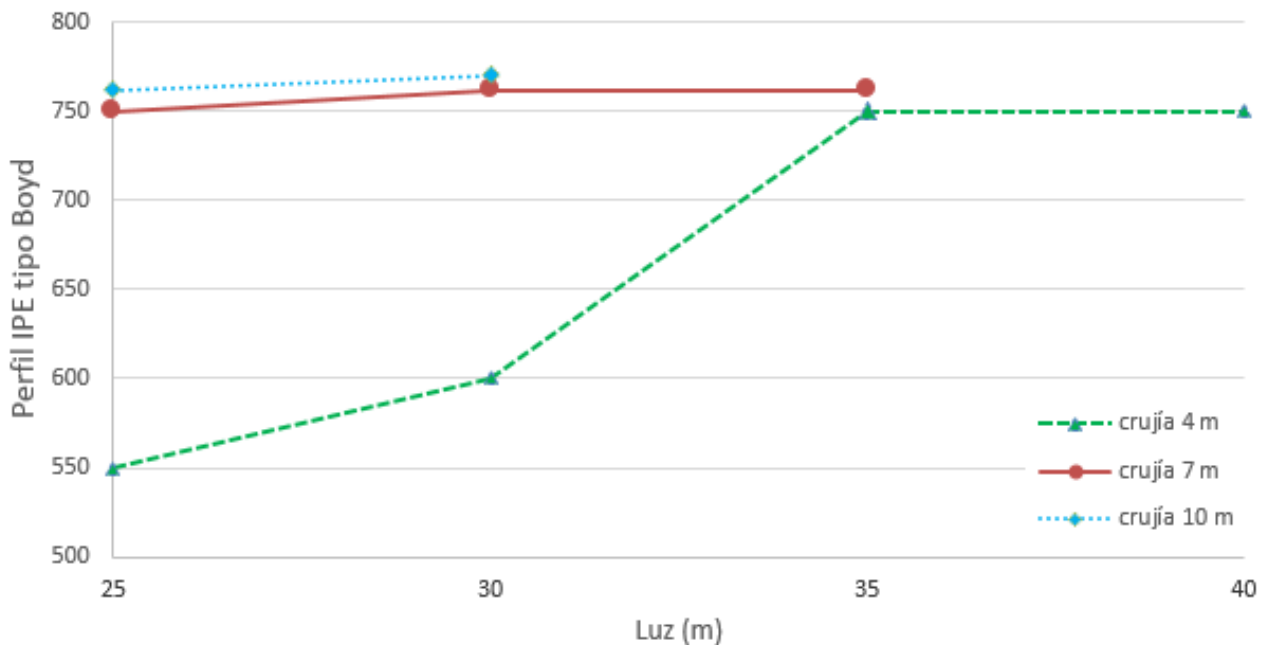


Figura 35. Influencia de la luz sobre la elección de la viga tipo Boyd para pilares.

Este tipo de perfiles aligerados trabajan mejor ante esfuerzos de flexión que de compresión, debido a su geometría hueca. Por este motivo, incluso para el caso más bajo de crujías de 4 metros, ya se requiere un perfil IPE tipo Boyd 550, siendo uno de los más elevados de la serie.

### Jácnas

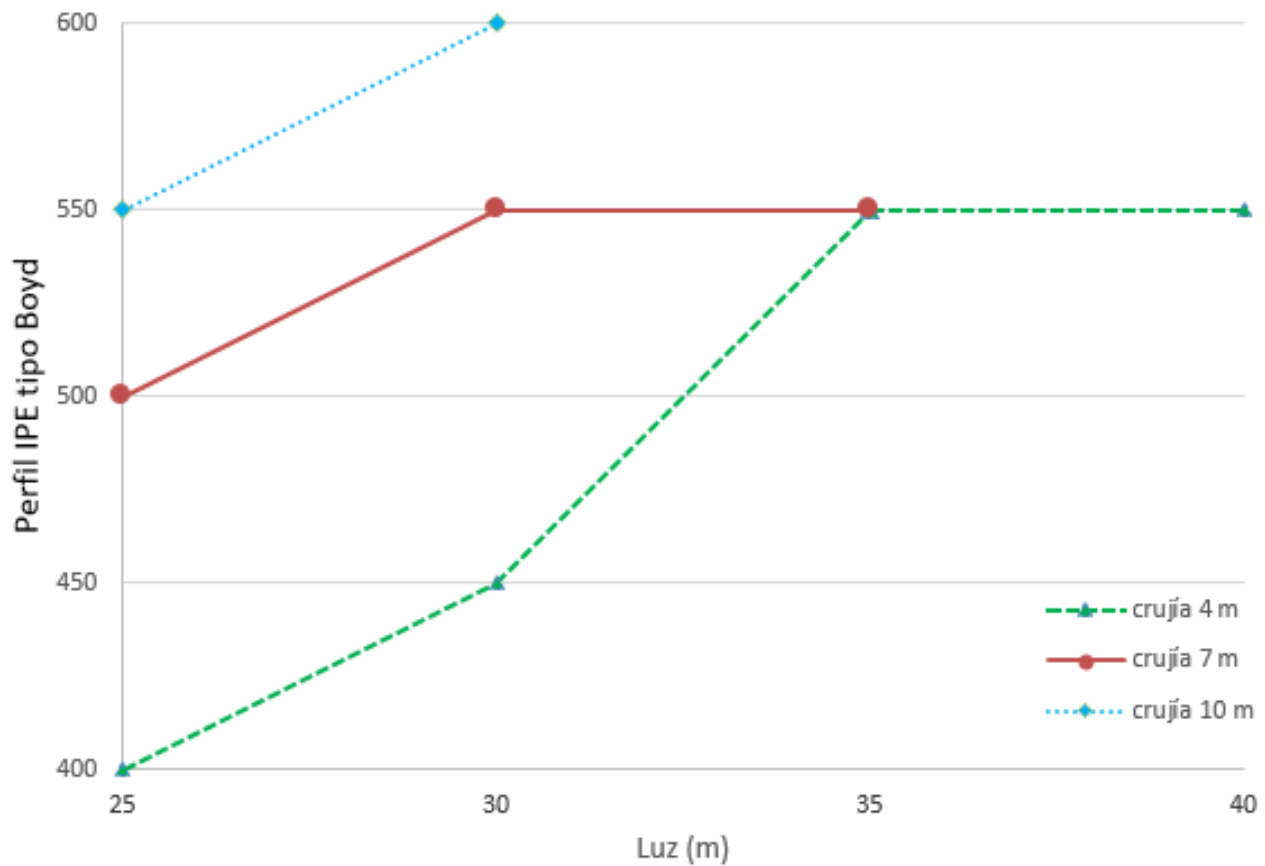


Figura 36. Influencia de la luz sobre la elección de la viga tipo Boyd para jácnas.

Por el contrario, se puede ver que estos perfiles toleran mejor los esfuerzos a flexión (debido a su geometría hueca, tienen mayor canto que los perfiles IPE y aligeran peso). Los perfiles iniciales son más bajos que para los pilares, y, adicionalmente, los incrementos de perfil respecto a la luz no son tan grandes.

#### 1.7.2.1.3. Influencia de la cruja

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la cruja de la estructura.

## Pilares

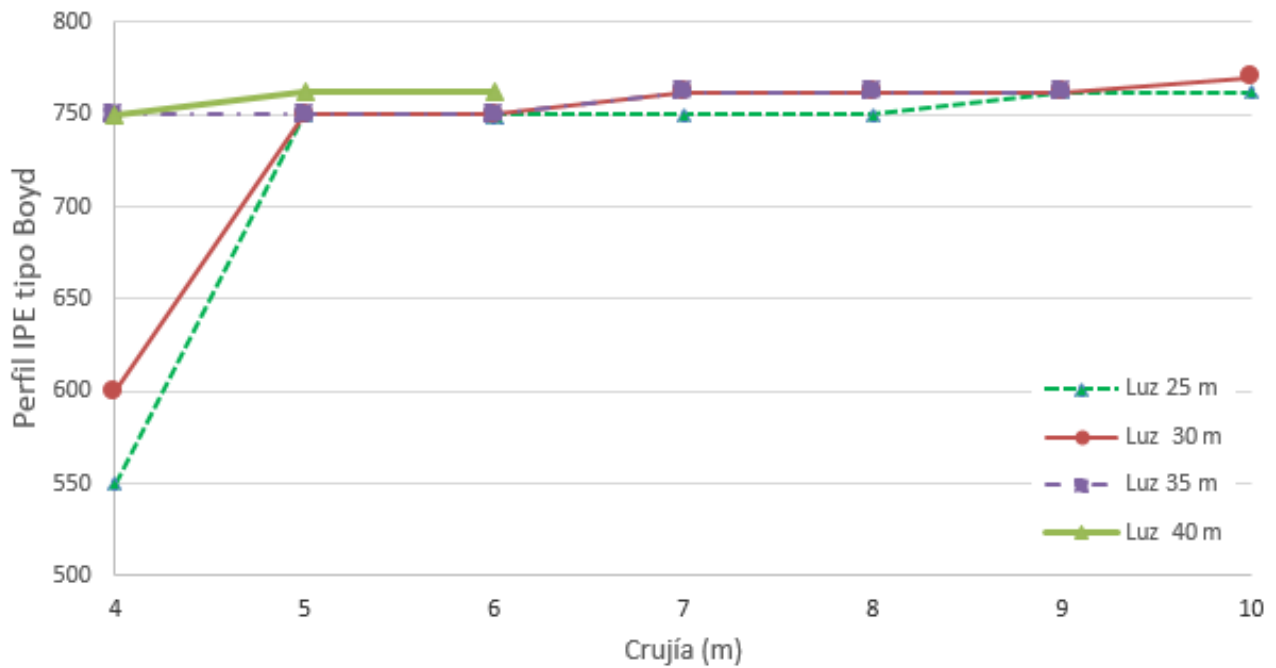


Figura 37. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil tipo Boyd para pilares.

Como se preveía este tipo de perfiles se comporta peor ante esfuerzos a compresión, por lo que inicialmente ya necesita perfiles muy elevados y, a partir de valores de crujía de 5 metros, ya requiere los perfiles máximos de la serie. Por tanto, se puede apreciar una relación muy fuerte entre aumento de crujía y el perfil necesario para cumplir con los esfuerzos propuestos.

## Jácnas

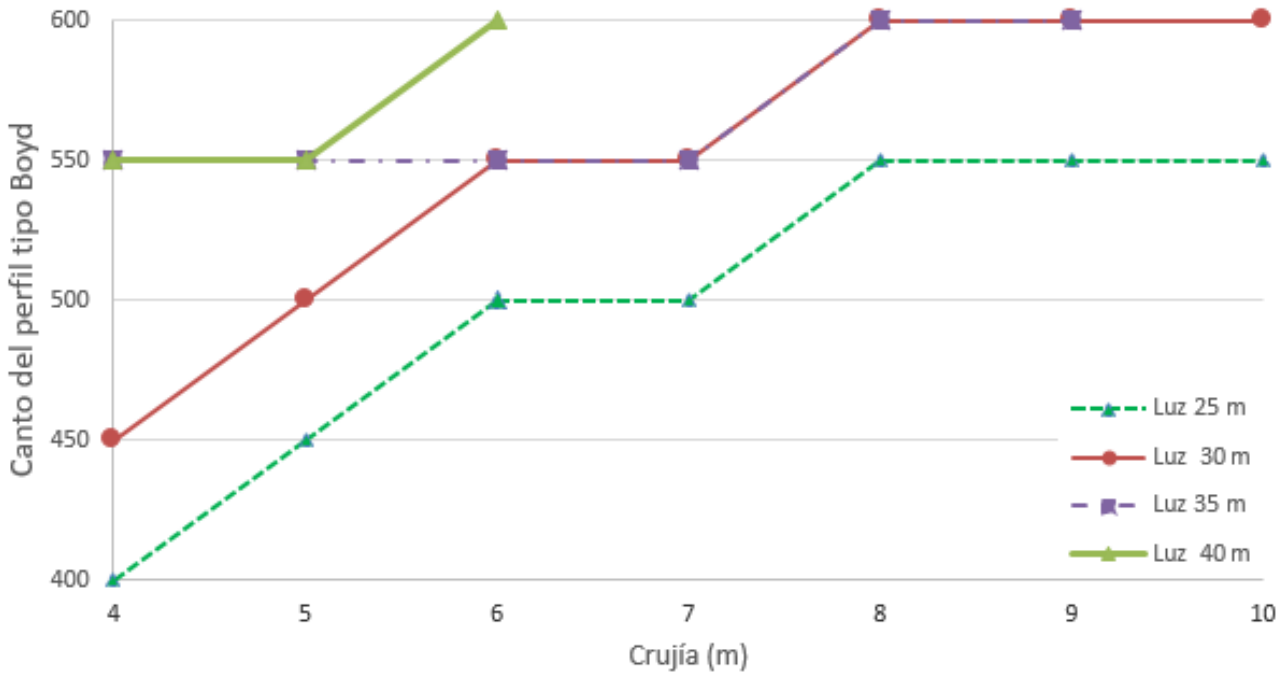


Figura 38. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil tipo Boyd para jácnas.

Existe una tendencia generalizada de aumento de perfil a medida que incrementa la crujía como cabía esperar. No obstante, es importante mencionar que, a pesar de lo anterior, el perfil empleado en las jácnas es menor que en los pilares, debido a su mayor canto y su mejor comportamiento ante esfuerzos de flexión.

### 1.7.2.2. Tipo Angelina

#### 1.7.2.2.1. Descripción del perfil

Las vigas tipo Angelina tienen huecos con forma circular (a diferencia de las vigas tipo Boyd que son hexagonales), siendo su proceso constructivo similar al anterior (tipo Boyd). Son vigas que reducen la longitud de las soldaduras y, además, son muy ligeras, por lo que reducen la cantidad de acero en los forjados, lo cual abarata con los costes de la estructura.

A continuación, se muestra un ejemplo de viga Angelina:



Figura 39. Viga tipo Angelina.

#### 1.7.2.2.2. Soluciones viables

Las vigas tipo Angelina son similares a las vigas tipo Boyd en cuanto al número de casos viables, lo cual tiene sentido debido a que la geometría de los perfiles es prácticamente igual. En la Tabla 10, se pueden apreciar las combinaciones que permiten las vigas tipo Angelina para los casos estudiados, obteniendo un total de 23 casos a analizar:

Tabla 10. Combinaciones viables dentro de las vigas tipo Angelina.

	Vigas tipo Angelina							
	Luz (m)							
Crujía (m)	25	30	35	40	45	50	55	60
4	x	x	x	x				
5	x	x	x	x				
6	x	x	x	x				
7	x	x	x					
8	x	x	x					
9	x	x	x					
10	x	x						

Tal y como se observa en la Tabla 10, las vigas tipo Angelina soportan como máximo una luz de 40 metros para los tres primeros casos estudiados. Se aprecia una disminución de luz de la estructura progresiva a medida que la crujía aumenta su valor.

Es importante destacar que, debido a su similitud con los perfiles tipo Boyd, tanto las soluciones viables como los resultados obtenidos son muy parecidos. Esto viene por la geometría de los perfiles, uno hexagonal (tipo Boyd) y el otro circular (tipo Angelina), sin embargo, a pesar de ser diferentes, el área hueca es prácticamente la misma, con lo que dicha variación no afecta de manera sustancial.

#### 1.7.2.2.3. Influencia de la luz

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección de la viga tipo Angelina la variación de la luz de la estructura para una crujía concreta.

## Pilares

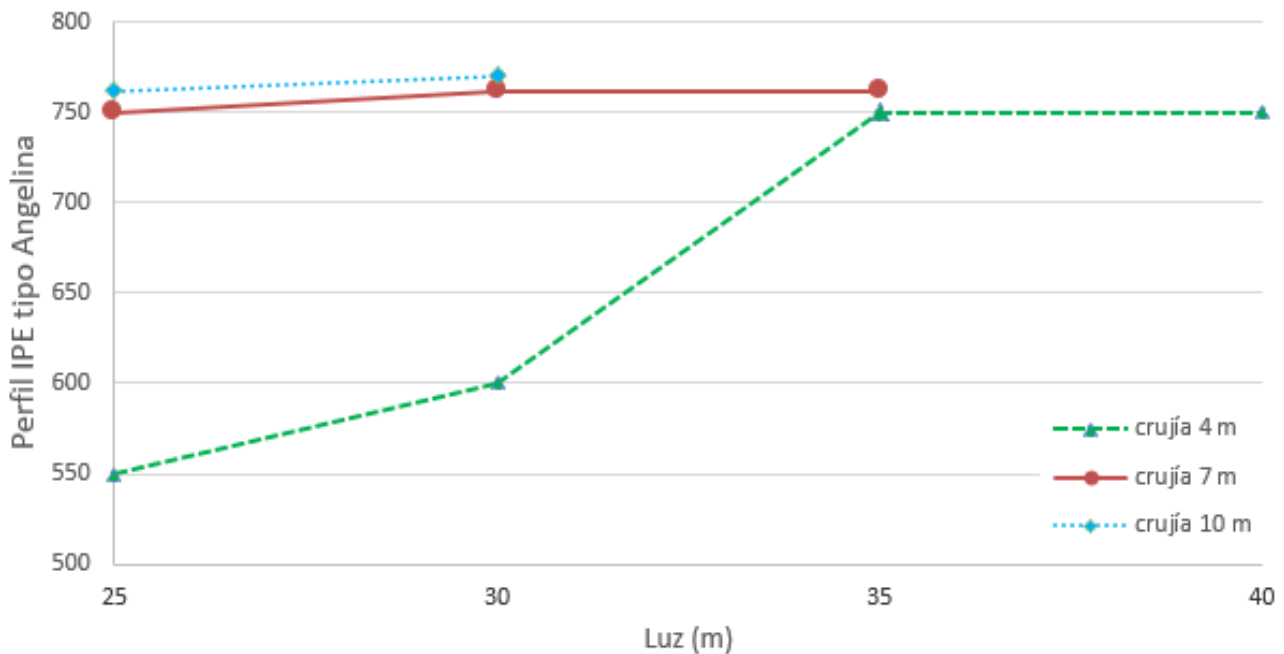


Figura 40. Influencia de la luz sobre la elección de la viga tipo Angelina para pilares.

En línea con lo que se ha comentado previamente, se trata de un caso similar a los perfiles tipo Boyd, donde, debido a su geometría aligerada, y, con un mayor canto de perfil, los perfiles Angelina trabajan mejor ante esfuerzos de flexión que de compresión.

Como se puede apreciar en la Figura 40, el caso de crujía de 4 metros, el más bajo estudiado, ya necesita un perfil IPE tipo Angelina 550. Además, se puede apreciar una diferencia considerable de perfil entre los distintos casos (crujía de 4, 7 y 10 metros), lo que indica que este tipo de perfiles trabaja peor en elementos de compresión que de flexión.



### Jácnas

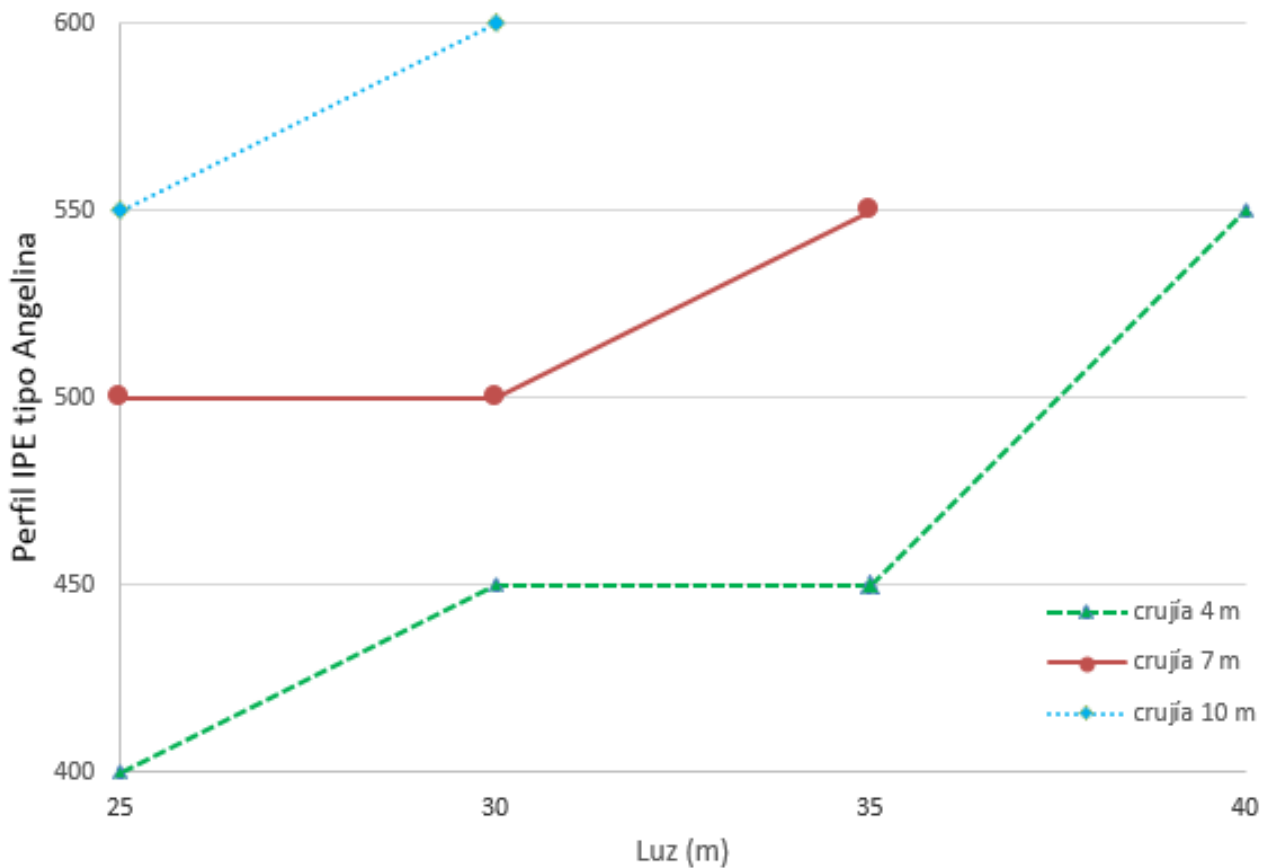


Figura 41. Influencia de la luz sobre la elección de la viga tipo Angelina para jácnas.

En este caso, ocurre lo mismo que en los perfiles tipo Boyd, siendo los perfiles iniciales más bajos que para los pilares, y, adicionalmente, los aumentos de perfil respecto a la luz no son tan grandes, lo que implica un mejor comportamiento frente a esfuerzos de flexión.

#### 1.7.2.2.4. Influencia de la crujía

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la crujía de la estructura para una luz concreta.

## Pilares

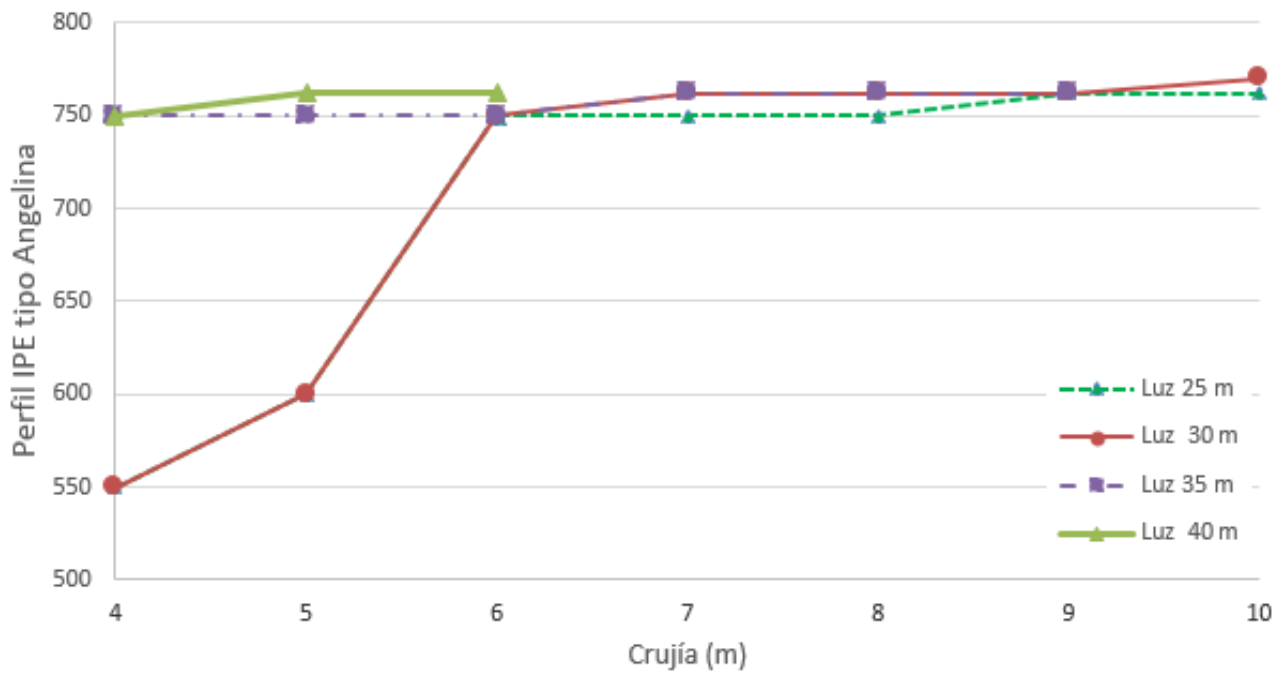


Figura 42. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil tipo Angelina para pilares.

Como se observa, existe mucha dependencia entre la crujía de la estructura y el perfil necesario. Como se aprecia, a partir de valores de crujía de 6 metros, ya se requieren los perfiles máximos de la serie. Esto ocurría de manera similar en los perfiles tipo Boyd.

### Jácnas

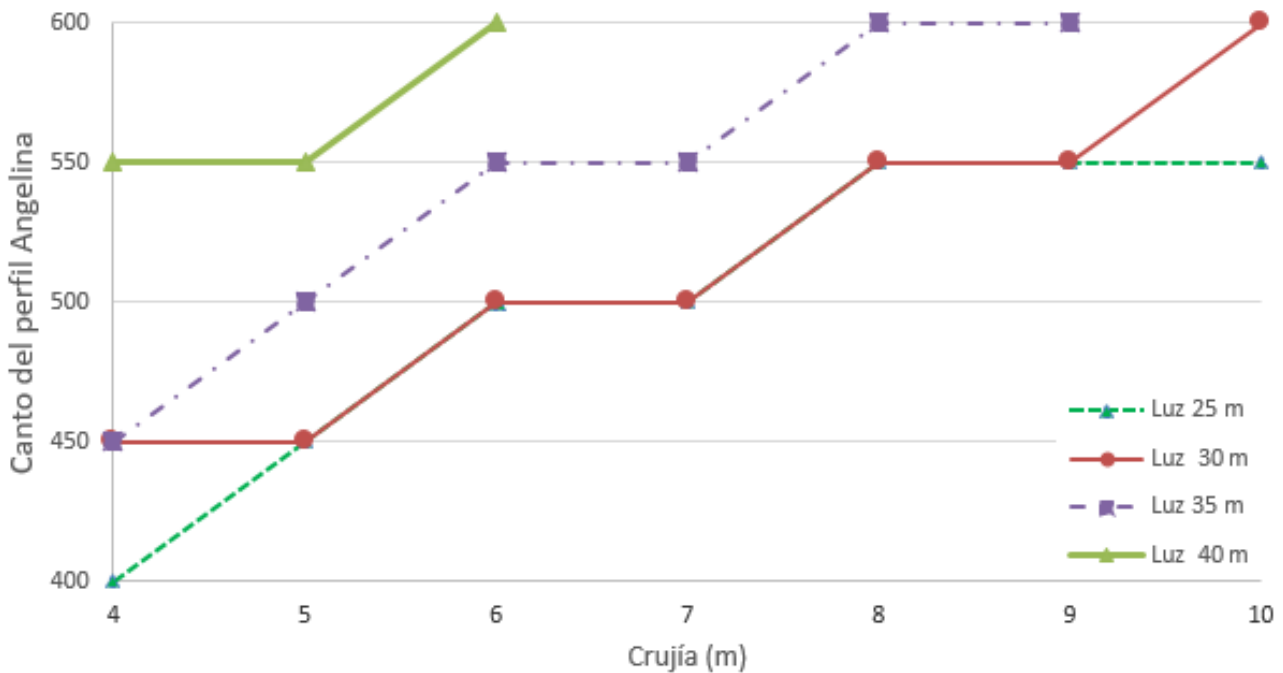


Figura 43. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil tipo Angelina para jácnas.

La tendencia generalizada es de un crecimiento en la demanda de perfil a medida que aumenta la crujía. Esto es lo que cabía esperar de este tipo de perfiles. No obstante, es importante mencionar que, a pesar de lo anterior, el perfil empleado en las jácnas es menor que en los pilares, debido a su mayor canto y su mejor comportamiento ante esfuerzos de flexión, y, de hecho, excepto para luces de 40 metros, los demás casos empiezan en una serie parecida del perfil, lo que implica que, al subir la luz de la nave, no se ve tan afecto el perfil (gracias a su geometría).

### 1.7.3. Celosías

Las celosías son estructuras de barras rectas interconectadas en nudos formando triángulos planos o pirámides tridimensionales. Una de las características principales de este tipo de estructuras, es que las barras dispuestas trabajan predominantemente a compresión y tracción.

Esta clase de estructuras en celosía posee una serie de ventajas frente a las demás estructuras (de alma llena), como, por ejemplo:

- Menor peso para luces grandes.
- Mejor aprovechamiento de las tensiones máximas por agotamiento.
- Más económicas.

A pesar de que se van a emplear distintas configuraciones de celosía (Pratt, Warren y Warren con montantes), todas están dispuestas con el mismo perfil. Se trata de perfiles huecos de sección cuadrada SHS (Square Hollow Sections):

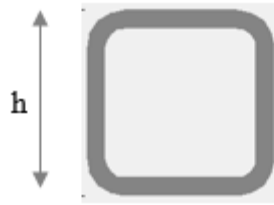


Figura 44. Perfil hueco de sección cuadrada.

El rango de los perfiles SHS abarca desde SHS 30 x 3.0 hasta SHS 260 x 12.5. La serie de este tipo de perfiles se identifica de la siguiente manera: el primer número mostrado hace referencia al canto (h) del perfil (al tratarse de un perfil cuadrado, ambos lados son idénticos), y, el segundo número del perfil hace referencia al espesor. Para el presente estudio, se hará referencia siempre al primer número (canto del perfil).

### 1.7.3.1. Pratt

#### 1.7.3.1.1. Descripción del perfil

La viga Pratt es una viga en celosía, cuya condición fundamental es la de ser geoméricamente indeformable. Es un tipo de estructura triangulada, tal y como se observa en la Figura 45:

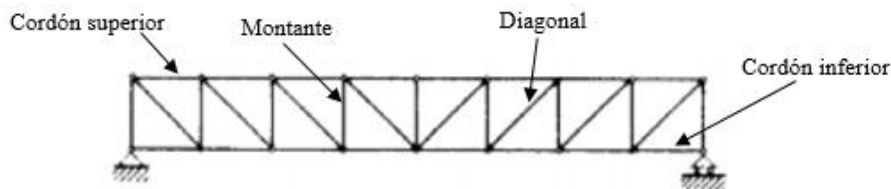


Figura 45. Viga en celosía tipo Pratt.

Es importante mencionar que las diagonales de la viga Pratt están sometidas a tracción ante cargas gravitatorias, mientras que los montantes están comprimidos ante las mismas cargas. Este hecho resulta interesante ya que los elementos traccionados no presentan problemas de pandeo. Sin embargo, los elementos a compresión sí pueden presentar pandeo, por lo que tendrán un mayor espesor para subsanar este efecto.

#### 1.7.3.1.2. Soluciones viables

En cuanto al número de soluciones viables que tiene la celosía Pratt, se puede apreciar en la Tabla 11 que se trata de un gran número de casos (un total de 48 casos a analizar). Tras los perfiles HL, las celosías Pratt son las configuraciones que mayores números de soluciones presentan, teniendo en cuenta las limitaciones del presente estudio.

Tabla 11. Combinaciones viables dentro de las celosías Pratt.

Crujía (m)	Celosía Pratt							
	Luz (m)							
	25	30	35	40	45	50	55	60
4	x	x	x	x	x	x	x	x
5	x	x	x	x	x	x	x	x
6	x	x	x	x	x	x	x	
7	x	x	x	x	x	x	x	
8	x	x	x	x	x	x	x	
9	x	x	x	x	x	x		
10	x	x	x	x	x			

Tal y como se observa en la Tabla 11, las celosías Pratt soportan hasta luces de 60 metros. No obstante, se puede apreciar como disminuye progresivamente la luz de la nave viable a medida que la crujía aumenta su valor, hasta obtener un valor máximo de 45 metros de luz para crujías de 10 metros. Esto significa que el comportamiento frente a luces grandes es bueno, sin embargo, sí que puede ser más sensible ante aumentos de carga tributaria.

#### 1.7.3.1.3. Influencia de la luz

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección de las celosías Pratt la variación de la luz de la estructura para una crujía (r) concreta.

Además, a diferencia de los casos estudiados anteriormente, se realizará el estudio para pilares, cordón superior, montantes y diagonales por separado.

## Pilares

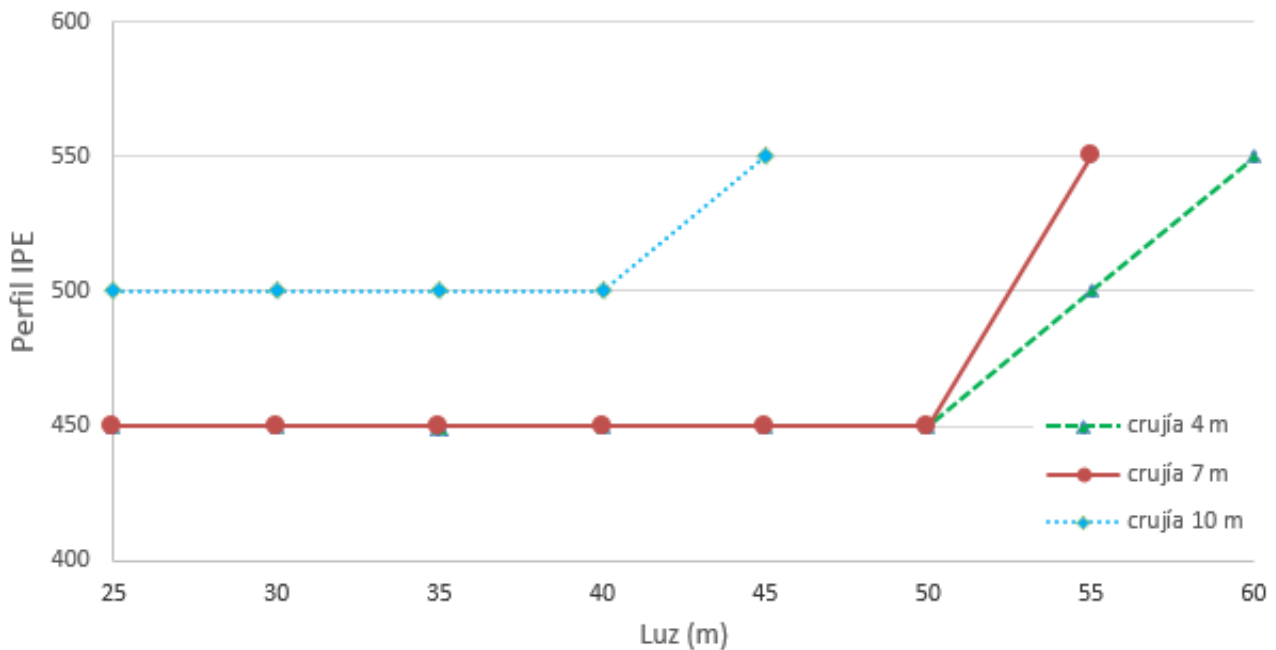


Figura 46. Influencia de la luz sobre la elección del perfil para pilares.

Como muestra la Figura 46, tal y como cabía esperar en este tipo de estructuras con celosía, de manera generalizada se puede observar una influencia muy baja de los esfuerzos a flexión respecto al perfil elegido. Exceptuando el caso más desfavorable (crujías de 10 metros), los demás casos hasta que no superan una luz de 50 metros, no empiezan a subir el perfil necesario. Esto es debido a que las celosías, en este caso concreto, las celosías tipo Pratt, soportan los esfuerzos a flexión muy bien.

Como se ha comentado anteriormente, se trata de estructuras pensadas para luces grandes, lo cual se demuestra en el estudio.

## Cordón superior

En este apartado se va a estudiar la influencia de la luz sobre el cordón superior de la celosía. Es interesante comentar que, a pesar de que la estructura de manera global trabaje a flexión, estos esfuerzos de flexión se transmiten por los elementos que componen la celosía de distintas maneras. El cordón superior de la estructura trabaja a compresión, mientras que el cordón inferior lo hace a tracción.

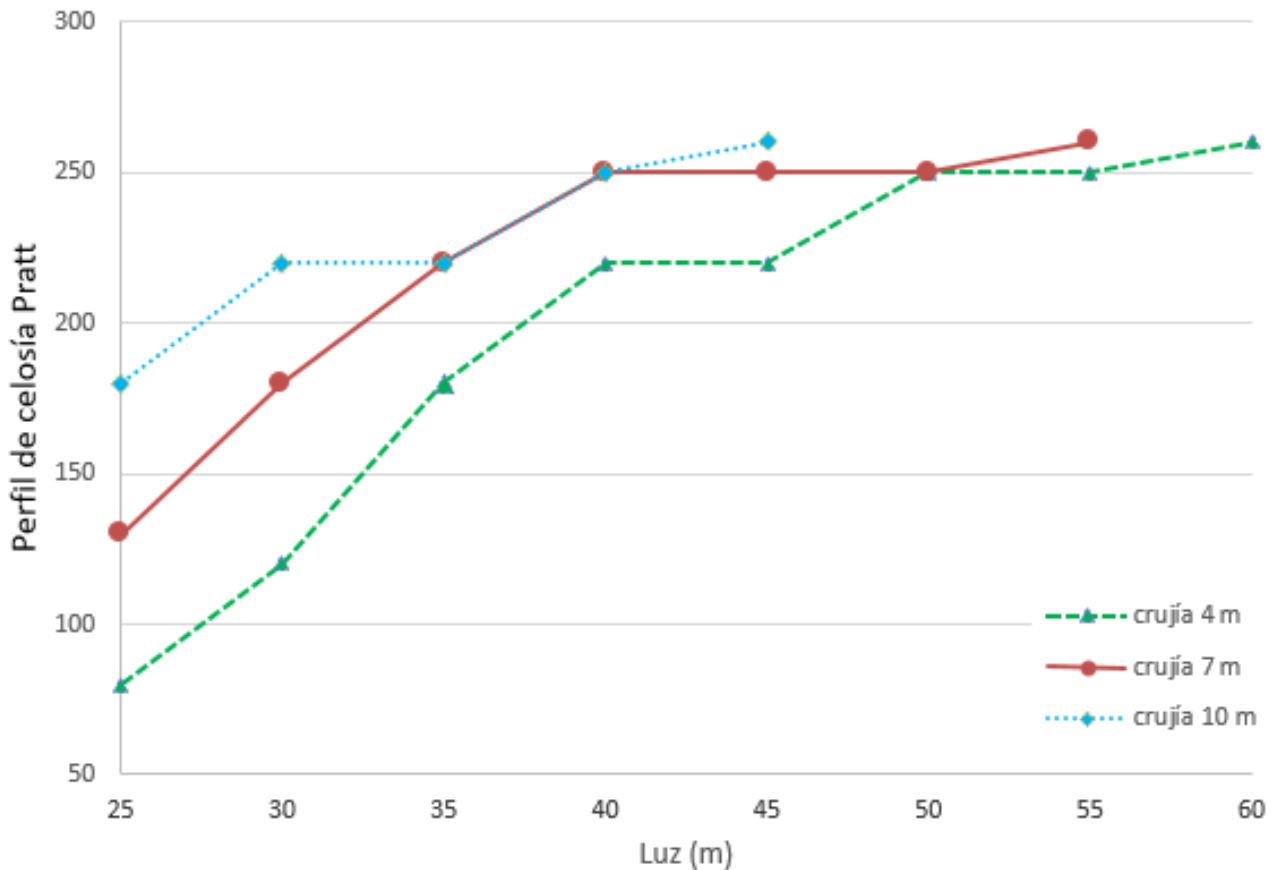


Figura 47. Influencia de la luz sobre la elección del perfil de la celosía Pratt para el cordón superior.

La tendencia común de los perfiles mostrados en la Figura 47 es agrandarse a medida que se incrementa la luz. Sin embargo, se trata de una serie de perfiles relativamente baja, lo cual implica que este tipo de estructuras se comportan bien frente a esfuerzos de compresión incluso con dimensiones moderadas.

Cabe mencionar que, a pesar de que, durante la primera mitad del estudio, los perfiles van creciendo progresivamente, cuando se pasan los 40 metros de luz, los perfiles empiezan a mantenerse constantes a medida que aumenta la luz.

### Montantes

Los montantes de las celosías tipo Pratt son elementos que trabajan a compresión. Esto es debido a la disposición de los mismos dentro de la estructura.

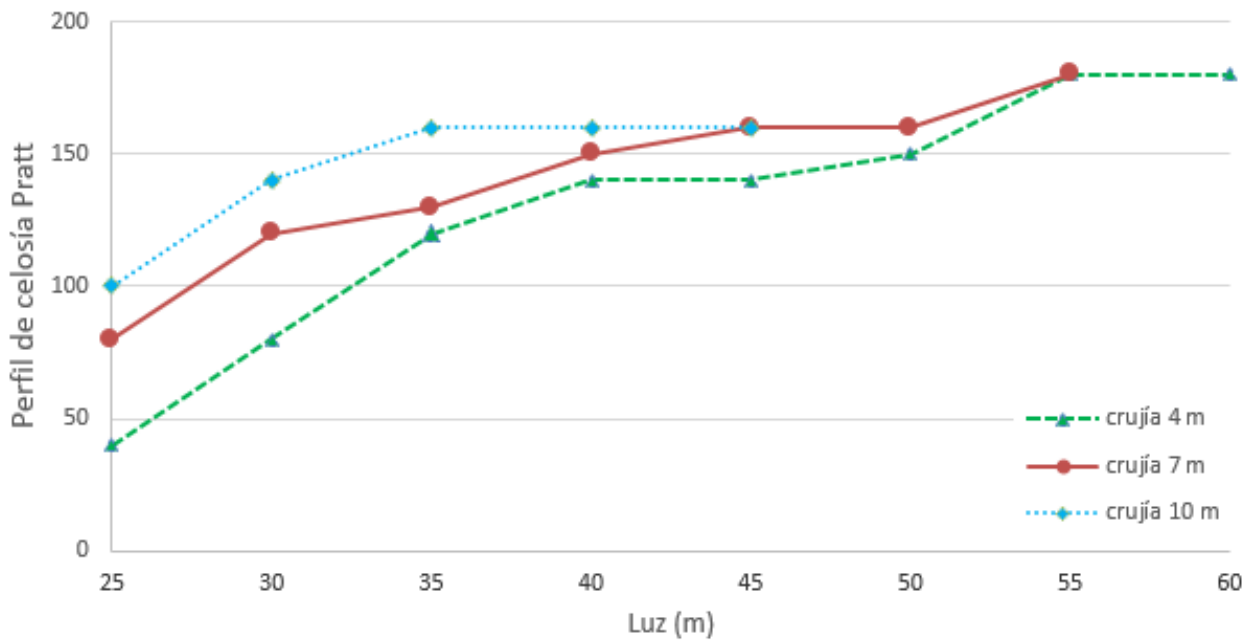


Figura 48. Influencia de la luz sobre la elección del perfil de la celosía Pratt para los montantes.

Tal y como se aprecia en la Figura 48, y, en línea con lo previsto, se obtiene de manera generalizada un incremento del perfil a medida que aumenta la luz de la estructura, no obstante, se trata de un hecho muy progresivo, incluso entre los tramos de luces de 35 hasta 50 metros casi no varía el perfil utilizado.

Como se puede observar, se trata de perfil relativamente bajos y sin cambios elevados, lo que implica una relación suave entre el aumento de luz con respecto al incremento de perfil. Esto es debido a que los incrementos en flexión provocados por el aumento en la luz de la nave se distribuyen entre montantes y diagonales como esfuerzos a compresión y tracción. Por lo tanto, los cambios son graduales en estos elementos.



## Diagonales

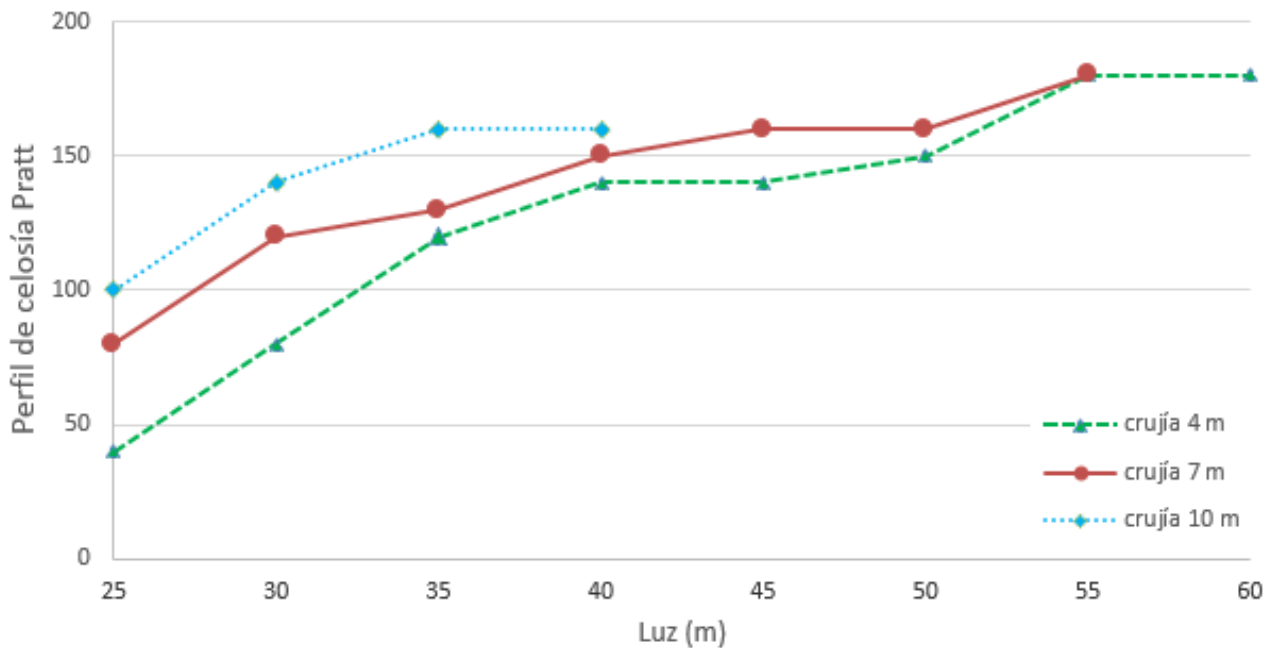


Figura 49. Influencia de la luz sobre la elección del perfil de la celosía Pratt para las diagonales.

Como se observa en la Figura 49, todos los casos estudiados tienen un aumento de perfil con el incremento de la luz de la estructura. Se trata de cambios de perfil muy escalonados como ocurriría con los montantes. Estos cambios se reflejan en un aumento global de la rigidez de la viga.

### 1.7.3.1.4. Influencia de la cruja

A continuación, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la cruja de la estructura.

Es importante destacar que, a pesar de que las soluciones de esta celosía llegan hasta los 60 metros de luz, para poder hacer un estudio comparativo con suficientes casos, se han seleccionado aquellas luces de 55 metros, donde hay un mayor número de soluciones viables.

## Pilares

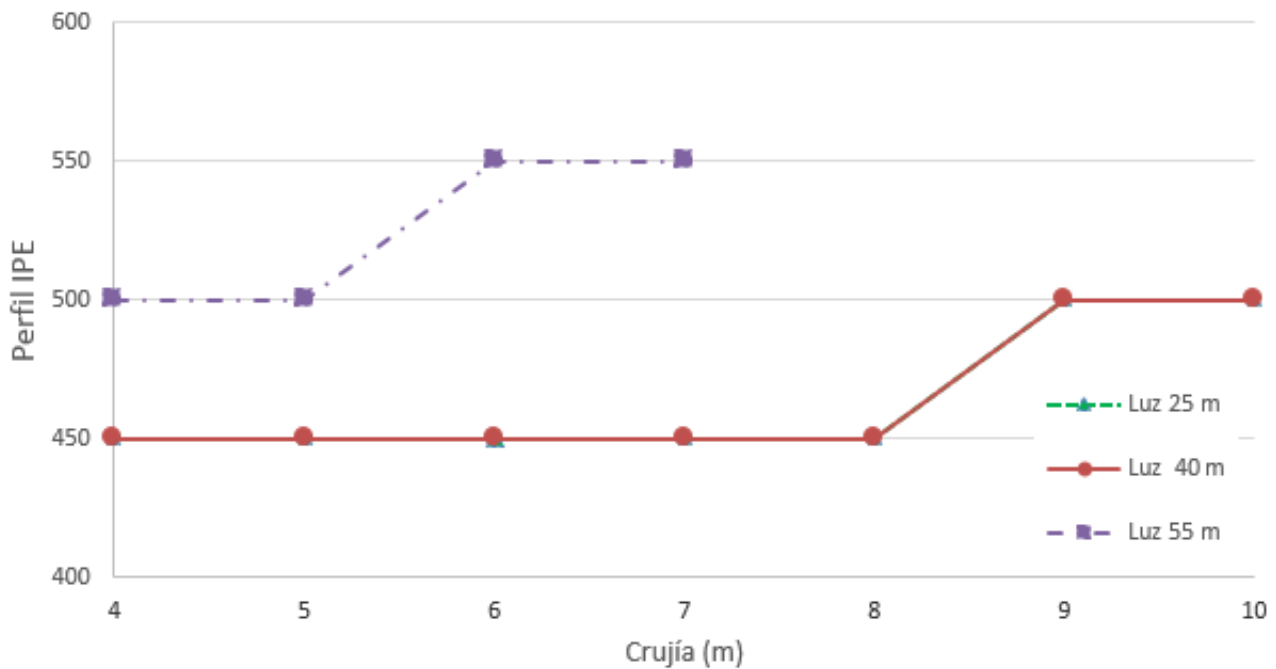


Figura 50. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil IPE para pilares.

Se observa en la Figura 50 se observa una tendencia similar en los pilares, tanto para aumentos de luz como para incrementos en crujía. Únicamente a partir de crujías de 8 metros es cuando empieza a notarse la influencia del incremento de carga debido a la variación de crujía. Esto indica que en esta configuración son las condiciones de contorno del pilar (la cercha apoya en él) las que determinan la relación del perfil (para luz de 25 metros y crujía de 4 metros se tiene un IPE 450).

Sólo a partir de crujías altas es cuando el área tributaria supone un aumento considerable en los esfuerzos que soporta y aumenta la demanda del perfil.

## Cordón superior

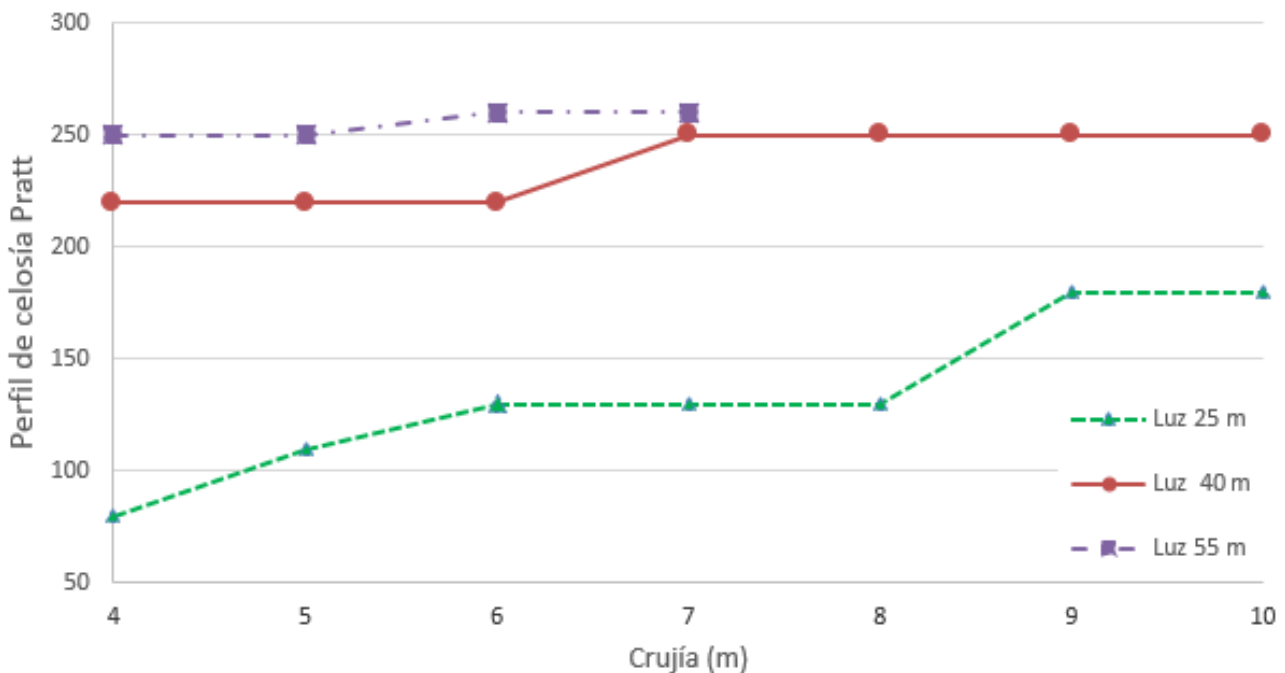


Figura 51. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil de la celosía Pratt para cordones superiores.

Se puede apreciar de manera general que, la variación de la crujía, no tiene un efecto considerable en el aumento del perfil a lo largo de todo el estudio.

Bajo la acción de las cargas contenidas en el plano, la celosía queda flexionada y eso implica axiles en los cordones superior e inferior. En el caso de acciones gravitatorias, el cordón superior queda comprimido, siendo los incrementos de luz los que aumentan considerablemente la flexión a soportar (y por tanto la compresión en el cordón superior) y no tanto el incremento en la crujía, que produce crecimientos suaves de perfil.

Estos aumentos se observan sobre todo para la luz de 25 metros (la más baja) donde el perfil está más ajustado y es más sensible a los esfuerzos. Sin embargo, para luces más grandes, la selección del perfil viene condicionada generalmente por la esbeltez, condición puramente geométrica y que marca un mínimo en la selección del perfil que trabaja holgadamente frente al incremento de esfuerzo.

## Montantes

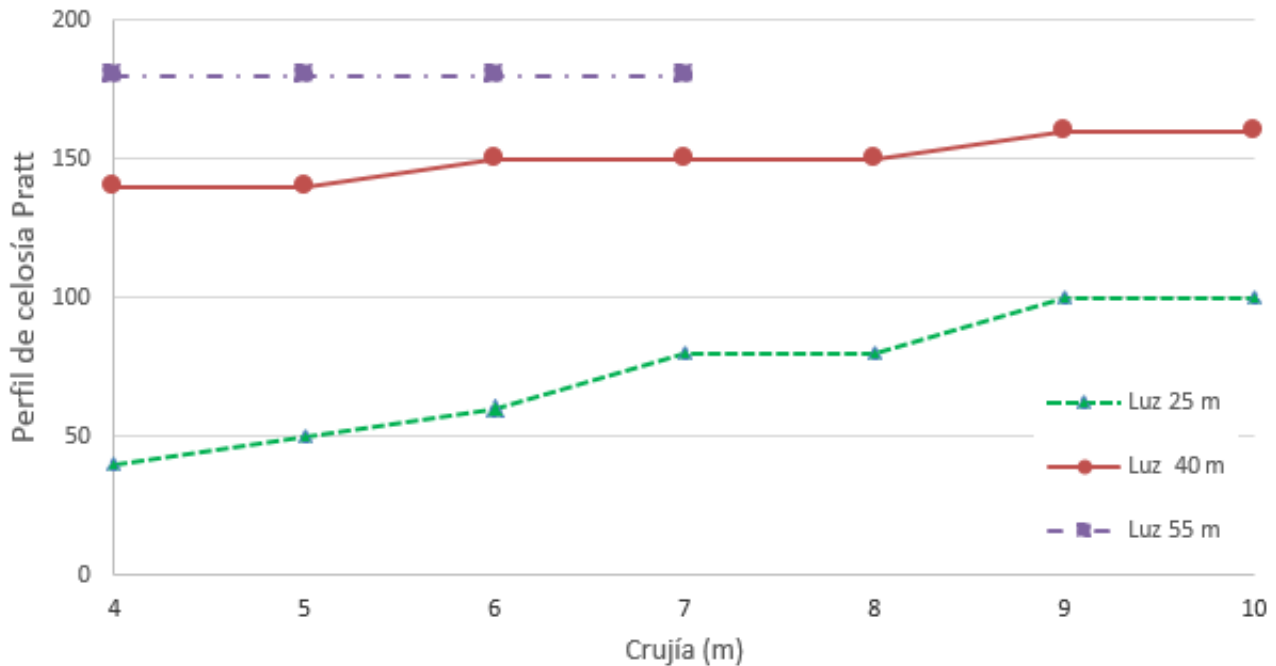


Figura 52. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil de la celosía Pratt para los montantes.

Como se observa en la Figura 52, se tiene una tendencia a mantener el perfil necesario a medida que se aumenta la crujía, lo cual implica que los montantes no se ven afectados por la mayor de carga tributaria. Este hecho tiene sentido, debido a que los mayores esfuerzos que le suponen a los elementos de la celosía, son los esfuerzos a flexión a los que se somete cuando incrementa la luz de la nave.

Por esta razón, sí que se puede apreciar un cambio de perfil en los distintos casos de luz estudiados, incrementando su valor de manera sustancial. Sin embargo, la variación de la crujía afecta de manera muy leve en la elección del perfil.

## Diagonales

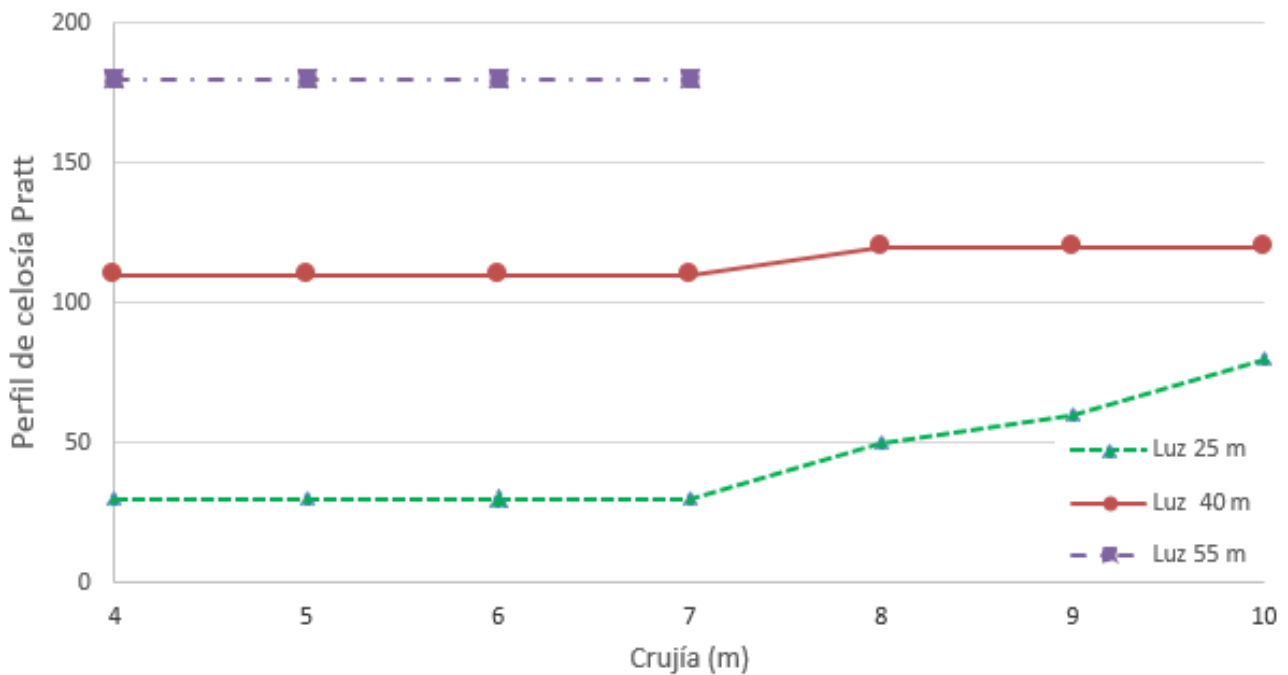


Figura 53. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil de la celosía Pratt para las diagonales.

Como se observa en la Figura 53, las diagonales se comportan de manera similar a los montantes. En el caso de las diagonales, de mayor longitud que los montantes, su perfil mínimo viene dado por cumplir la condición de esbeltez, lo que las hace incluso menos sensibles al aumento de esfuerzo axial que los montantes.

### 1.7.3.2. Warren y Warren con montantes

#### 1.7.3.2.1. Descripción del perfil

Debido a la similitud entre las celosías Warren y Warren con montantes, en este apartado se van a describir ambas configuraciones.

Aunque los perfiles se van a describir por separado, los resultados obtenidos son tan similares que se van a comentar conjuntamente. A continuación, se procede a describir cada configuración para posteriormente mostrar las soluciones viables de ambos casos conjuntamente.

#### Warren

Este tipo de vigas en celosía se caracteriza por estar constituida por la unión de barras formando triangulaciones, es decir, triángulos equiláteros, tal y como se puede observar en la Figura 54:

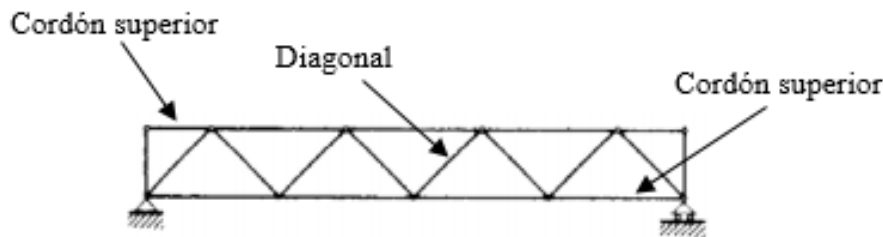


Figura 54. Viga en celosía tipo Warren.

Una de las principales ventajas de este tipo de celosías es su capacidad para distribuir la carga distribuida de manera uniforme. No obstante, es destacable que, para cargas puntuales (concentradas en un solo nudo), las celosías Warren pierden eficacia distribuyendo cargas uniformemente.

Se trata, además, de un diseño sencillo donde las diagonales de este tipo de estructuras, presentan esfuerzos alternativos de compresión y tracción. Esto, que desde el punto de vista resistente puede ser desfavorable, es una ventaja constructiva.

La viga Warren se emplea en todo tipo de luces (pequeñas, medianas y grandes), con la ventaja de poseer una malla poco espesa.

#### Warren con montantes

Este tipo de celosías es muy similar a las Warren, sin embargo, para reducir las esbelteces de las barras sometidas a compresión o reducir la flexión en las barras del cordón inferior, se agregan barras verticales, denominadas montantes. De esta manera, se obtiene la configuración que se muestra en la Figura 55:

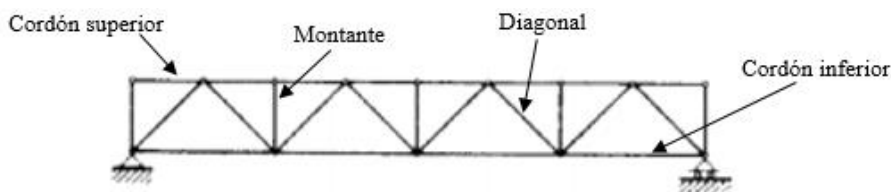


Figura 55. Viga en celosía tipo Warren con montantes.

Este tipo de viga posee una buena resistencia mecánica frente a la economía de materiales usados en su construcción, resultando considerablemente ligera.

#### 1.7.3.2.2. Soluciones viables

Este apartado recoge las soluciones viables tanto de las celosías Warren, como de las celosías Warren con montantes. Se trata de configuraciones que soportan grandes luces, sin embargo, no permiten luces tan grandes como las celosías Pratt.

En la Tabla 12, se pueden apreciar las combinaciones que permiten las celosías Warren y Warren con montantes para los casos estudiados, obteniendo un total de 39 casos a analizar:

Tabla 12. Combinaciones viables dentro de las celosías Warren y Warren con montantes.

Crujía (m)	Celosía Warren							
	Luz (m)							
	25	30	35	40	45	50	55	60
4	x	x	x	x	x	x	x	
5	x	x	x	x	x	x	x	
6	x	x	x	x	x	x		
7	x	x	x	x	x	x		
8	x	x	x	x	x			
9	x	x	x	x				
10	x	x	x	x				

Tal y como se observa en la Tabla 12, ambas celosías soportan como máximo una luz de 55 metros, y esto se da para crujías de 4 y 5 metros. Se puede apreciar como disminuye progresivamente el valor máximo de la luz viable a medida que la crujía aumenta su valor, hasta obtener un valor máximo de 40 metros de luz para crujías de 10 metros.

### 1.7.3.2.3. Influencia de la luz

#### Pilares

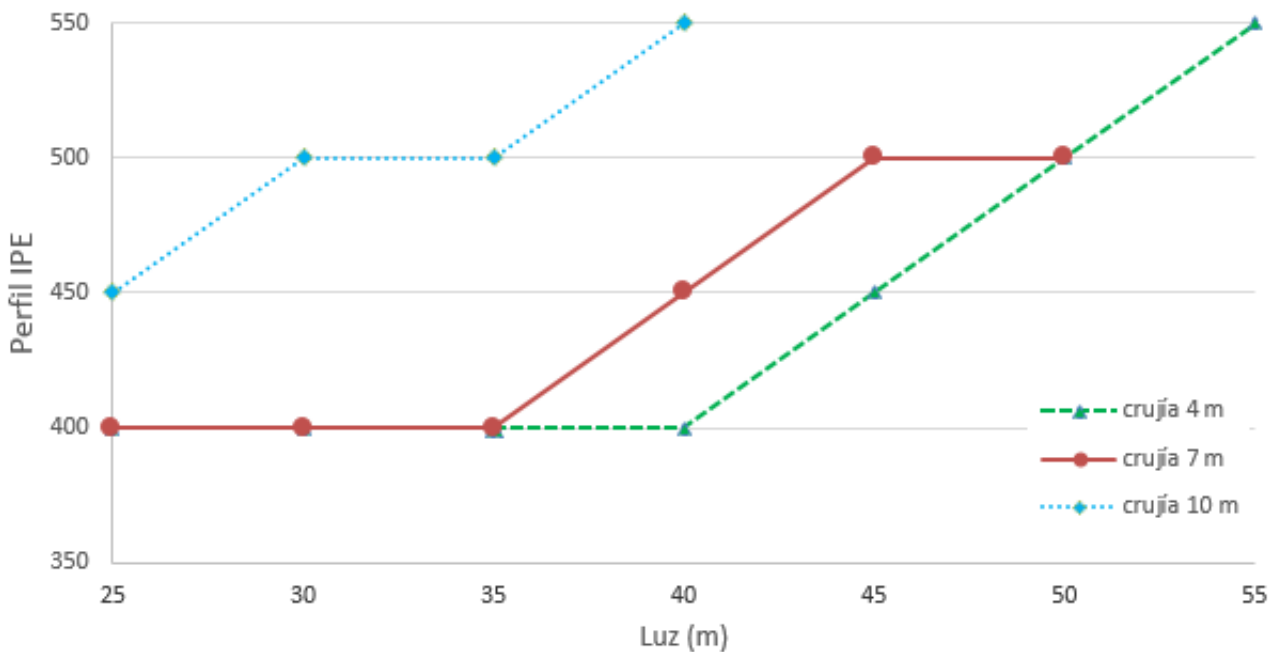


Figura 56. Influencia de la luz sobre la elección del perfil para pilares.

Al igual que ocurría para las vigas Pratt, se puede observar cómo incluso para la luz más baja, se requieren perfiles IPE de canto elevado (IPE 400) debido a las condiciones de sustentación de las mismas ya que la cercha apoya en ellas. A la vista de los resultados se tiene que a medida que aumenta la crujía, el pilar es más sensible al incremento de luz ya que crece considerablemente el esfuerzo que soporta.

Sin embargo, es importante mencionar que, pese a su buen comportamiento frente a esfuerzos de flexión, se comporta peor que las celosías tipo Pratt para grandes luces, cuya variación en el perfil de los pilares era menos sensible para luces grandes.

### Cordón superior

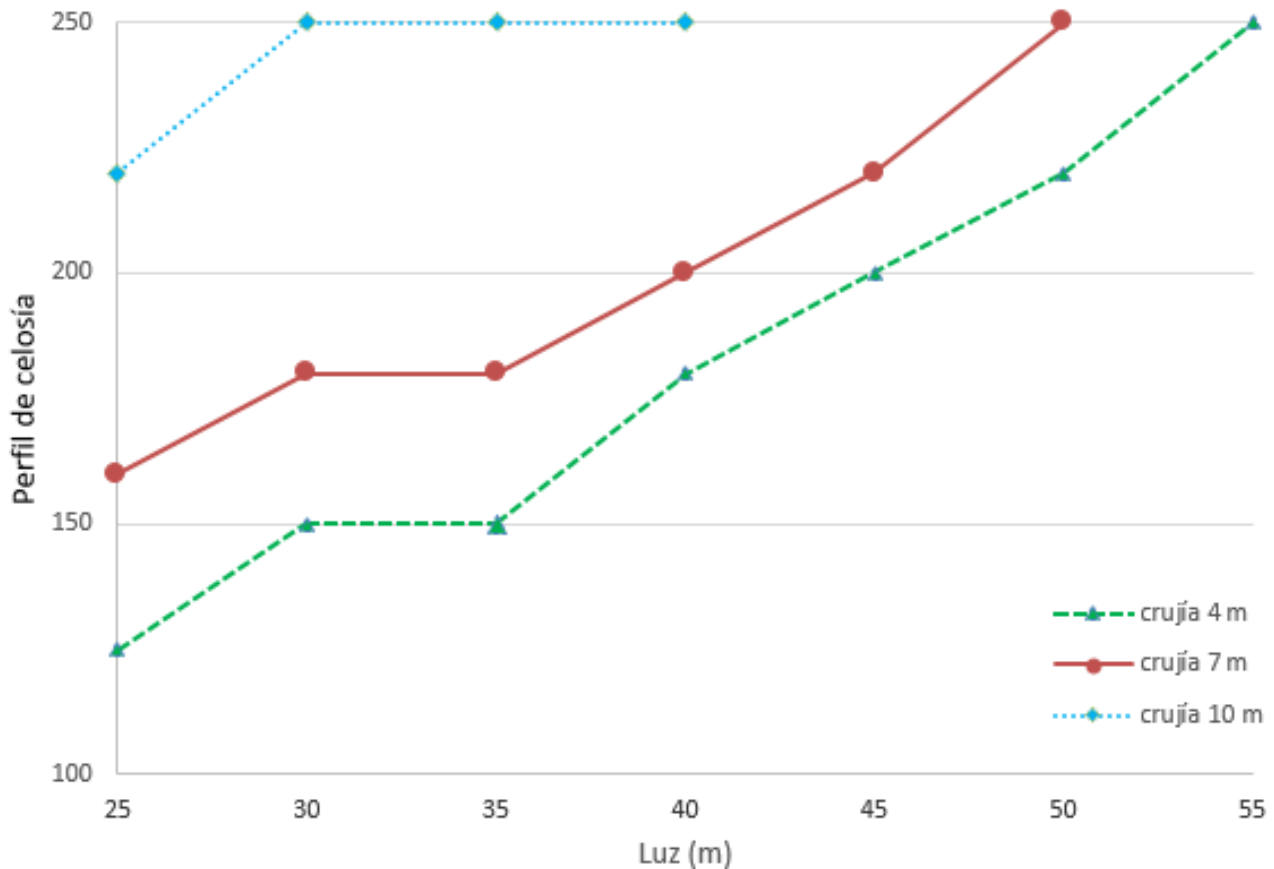


Figura 57. Influencia de la luz sobre la elección del perfil de la celosía Warren y Warren con montantes para jácenas.

Para el cordón superior de la estructura, se puede apreciar un acrecimiento progresivo del perfil necesario para cumplir con la correspondiente luz. Esto es lógico debido a que los esfuerzos que más impactan sobre el perfil escogido para este tipo de barras viene provocado por el aumento de luz (aumento de flecha de la estructura). Como se ha comentado anteriormente, el incremento de luz supone un crecimiento en la longitud de las barras y esto incrementa el perfil necesario para cumplir con la condición de esbeltez, por lo que el perfil aumenta linealmente.

La sensibilidad al aumento de esfuerzo axial se ve en la variación de este con la crujía, sobre todo notable para crujeas de 10 metros.



## Diagonales

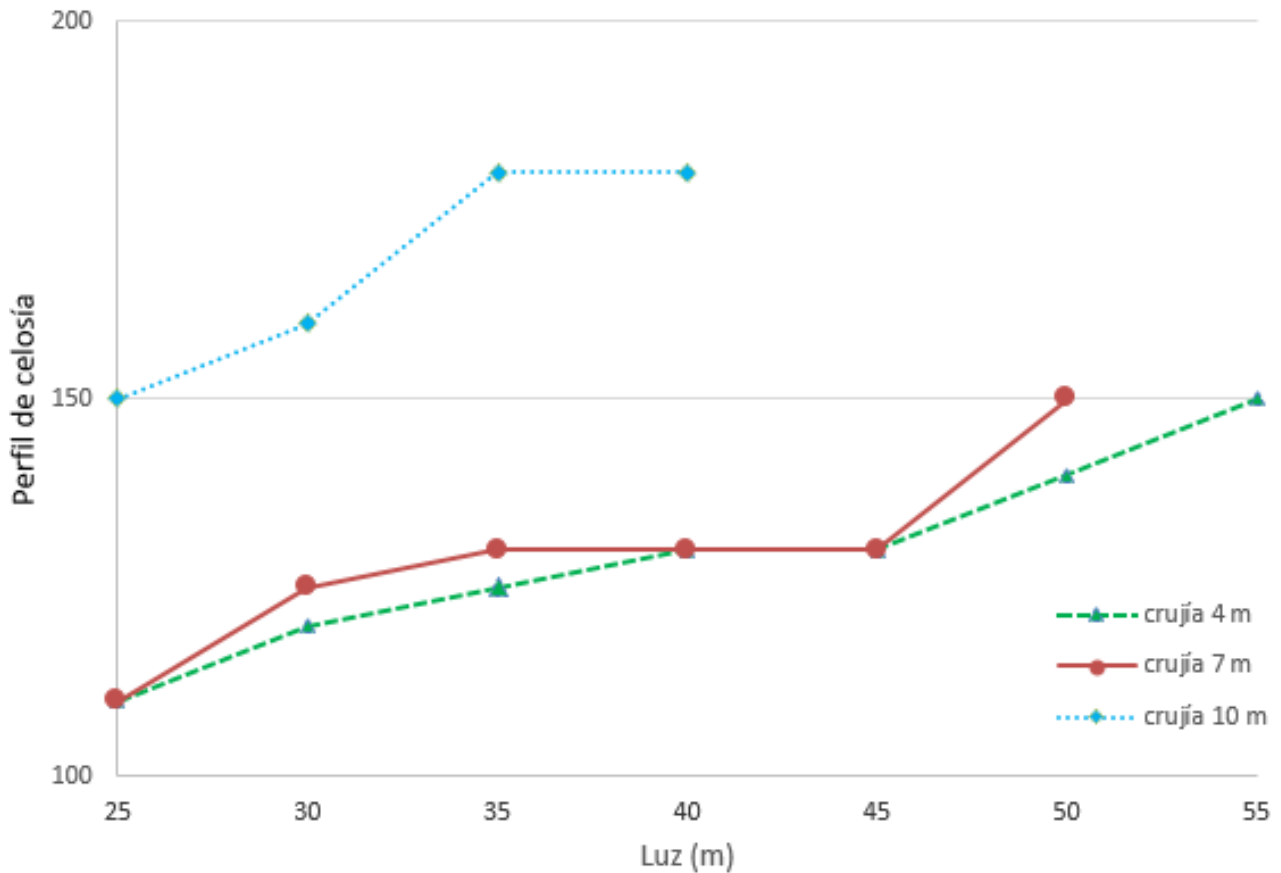


Figura 58. Influencia de la luz sobre la elección del perfil de la celosía Warren y Warren con montantes para las diagonales.

De nuevo, para las diagonales se observa un aumento gradual del perfil con la luz para todas las crujeas debido al aumento de la esbeltez que esto supone y que condiciona el perfil. De hecho, se puede observar como para crujeas de 4 metros y 7 metros, con áreas tributarias diferentes, esto apenas afecta. Sólo para crujeas de 10 metros es cuando el incremento de esfuerzo en la barra es notable.

### 1.7.3.2.4. Influencia de la cruja

En este apartado, se va a analizar la influencia que tiene sobre la elección del perfil la variación de la cruja de la estructura para una luz específica.

## Pilares

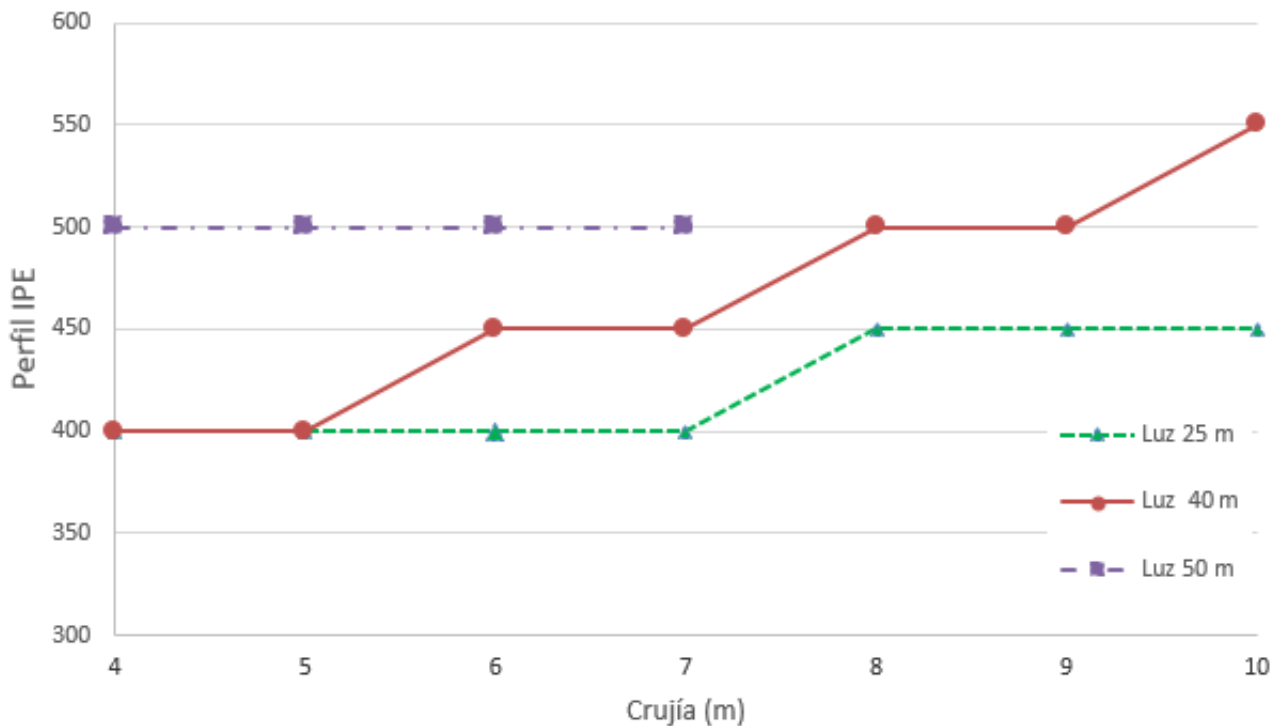


Figura 59. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil IPE para pilares.

Para esta estructura, el aumento de crujía no supone un cambio significativo de perfil. Tal y como se demuestra en la Figura 59, a medida que avanza la crujía, el perfil varía mínimamente.

Debido a las condiciones de contorno de los pilares se puede observar como el perfil necesario incluso para una crujía de 4 metros es alto (IPE 400) para la menor de las luces (25 metros).

Esto condiciona las dimensiones del perfil y lo hace poco sensible a los incrementos de esfuerzo por el aumento de la crujía. Para la mayor luz (50 metros) el perfil no varía y deja de haber solución viable para crujías >7 metros.

### Cordón superior

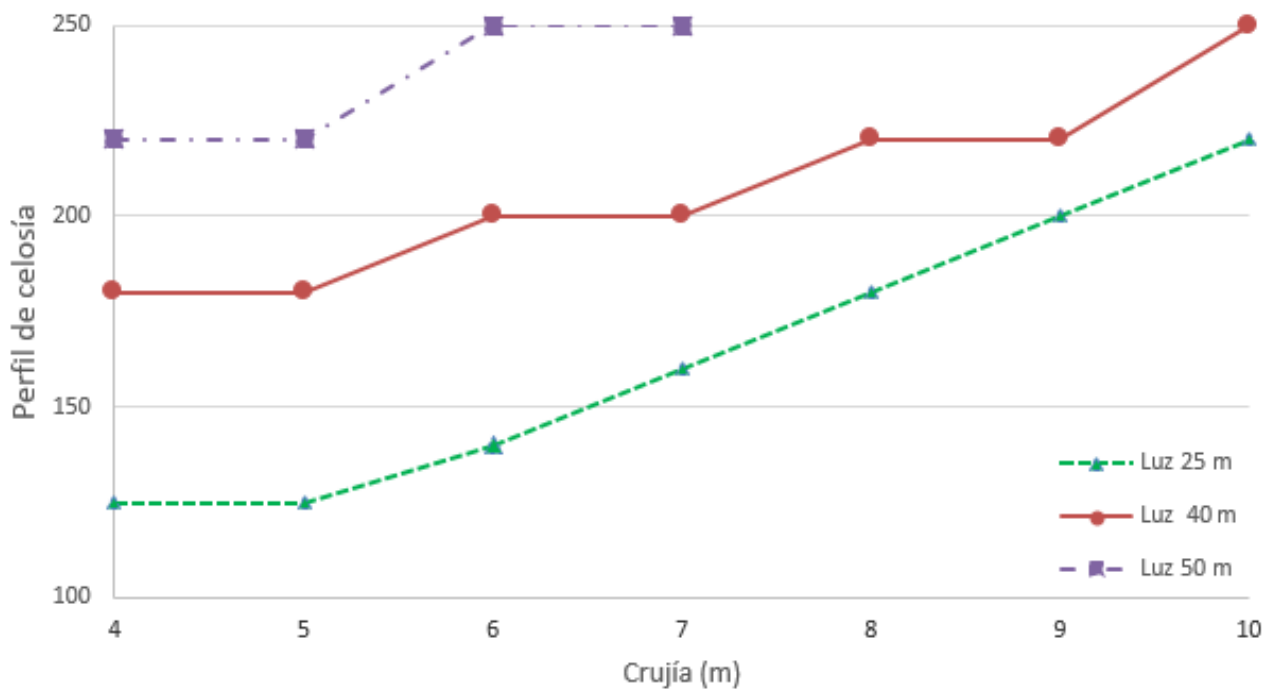


Figura 60. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil de la celosía Warren y Warren con montantes para jácenas.

En este caso, sí que se puede apreciar un aumento lineal generalizado del perfil a medida que se incrementa la crujía de la estructura. Como cabía esperar, al aumentar la crujía, crecen los esfuerzos que hay que soportar y, por tanto, los axiles que soporta el cordón superior.

Nuevamente se puede apreciar que el salto en el perfil es más grande al aumentar la luz y modificar la longitud de las barras.

## Diagonales

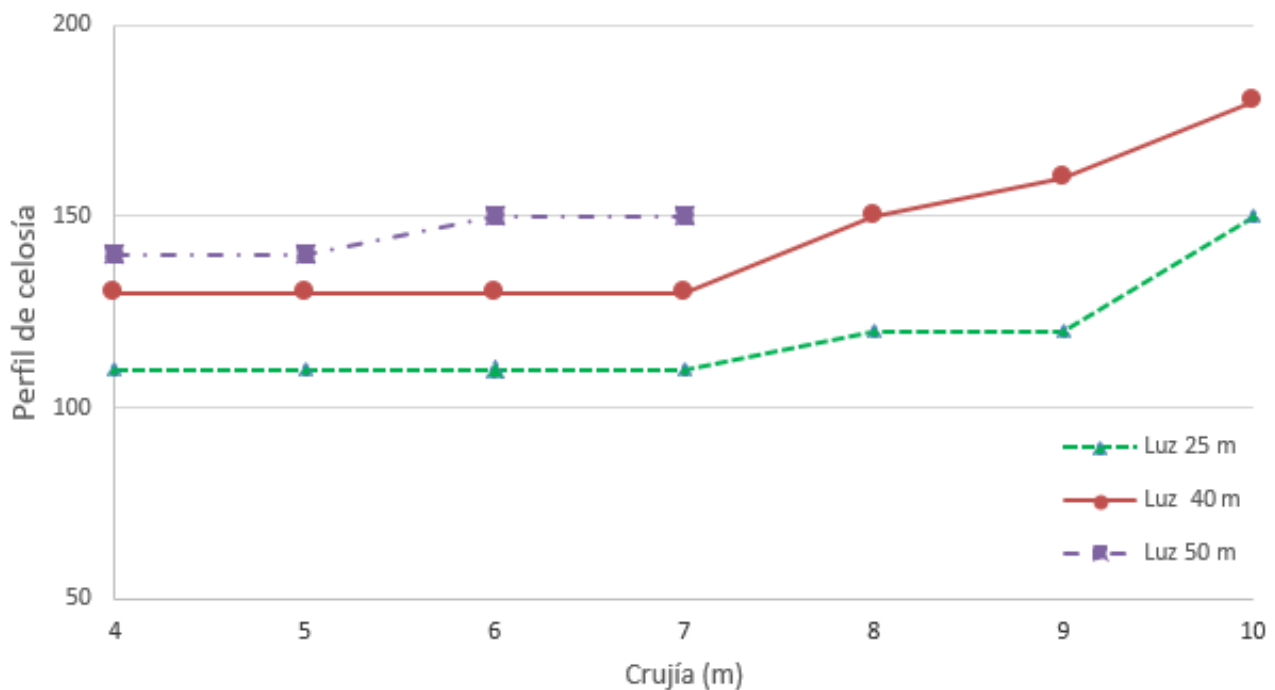


Figura 61. Influencia de la crujía sobre la elección del perfil de la celosía Warren y Warren con montantes para las diagonales.

Tal y como se observa en la Figura 61, y, según lo previsto, la variación de la crujía no afecta significativamente al perfil elegido para las diagonales de la estructura. Se trata de elementos cuyo diseño viene marcado por la condición de esbeltez principalmente y son menos sensibles a los aumentos de crujía para una luz concreta.

## 1.8. Resultados finales

En este apartado se muestra una comparativa por peso (kg) de los resultados viables anteriormente descritos. Debido a la gran cantidad de casos a presentar, el estudio mostrado a continuación se ha realizado para dos crujías distintas (4 y 7 metros) y consiste en analizar el peso de un pórtico interior. El objetivo de dicha comparación es analizar qué familia de perfiles es más económica según la geometría de la estructura y poder plantear, finalmente, recomendaciones de diseño.

En el apartado de Anexo de Cálculos, se pueden encontrar todos los datos de todos casos estudiados a lo largo del presente estudio.

Primero, se van a mostrar por separado los tres grandes grupos analizados, comparándolos entre sí:

- Perfil simple: incluye perfiles IPE, IPN, HE, HP, HD, HL.
- Vigas alveoladas: tipo Boyd y tipo Angelina.
- Celosías: Pratt, Warren y Warren con montantes.

Posteriormente se analizará de manera conjunta las soluciones viables, mostrando en cada caso, el perfil más eficiente según el criterio económico.

### 1.8.1. Perfil simple

#### Crujía 4 metros

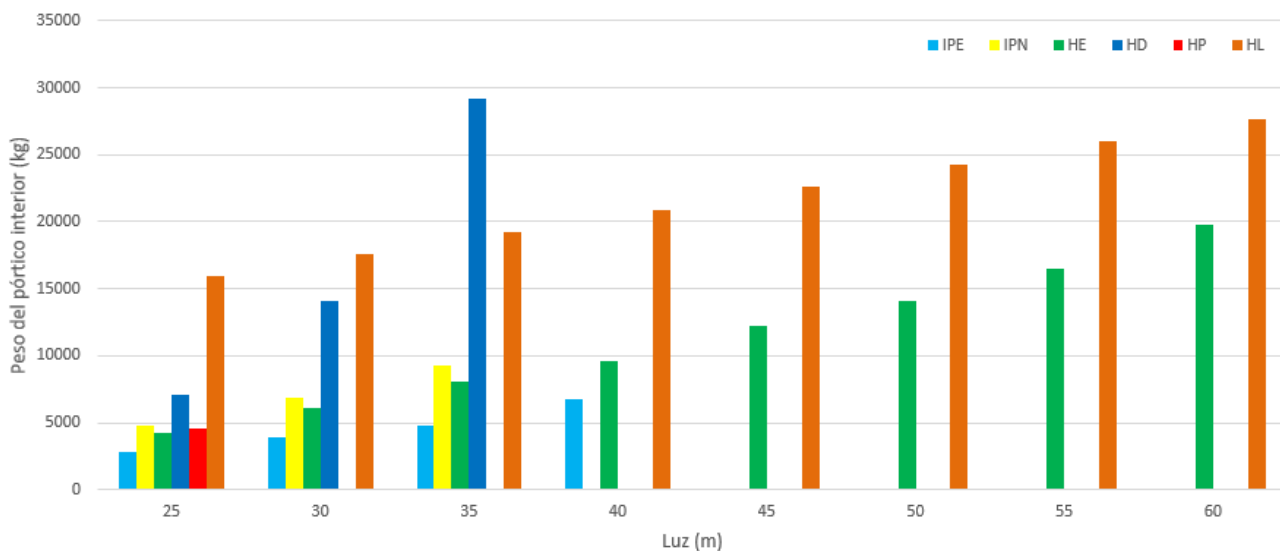


Figura 62. Peso de los perfiles simples según variación en la luz de la estructura para crujías de 4 metros.

Tal y como se puede observar en la Figura 62, y, en línea con lo mostrado en el apartado previo, los perfiles IPE son los que menos peso por pórtico tienen, es decir, dentro de los perfiles simples serían los perfiles elegidos, según el criterio económico, para las configuraciones dispuestas durante el presente estudio. Sin embargo, para luces mayores a 40 metros, se emplearía un perfil HE, ya que de los dos perfiles simples que soportan dichas luces, es el menos pesado.

Se puede apreciar una tendencia incremental del peso del pórtico a medida que avanza la luz, lo cual tiene sentido, ya que los esfuerzos a soportar son mayores y, además, los metros de estructura son mayores también.

Cabe mencionar que los perfiles HL soportan luces más grandes, sin embargo, ya desde el primer momento se emplea un perfil HL 344x11 que, aunque es el perfil mínimo de la serie, es mucho más pesado que los demás perfiles simples.

Por otro lado, es interesante mencionar el incremento tan importante en los perfiles HD con respecto a la luz. Debido a su mal comportamiento ante esfuerzos de flexión, cada incremento de luz de la nave, supone una gran variación en el perfil para poder cumplir las solicitaciones, lo cual genera una demanda de un perfil muy pesado (poco competente respecto a otros perfiles simples).

## Crujía 7 metros

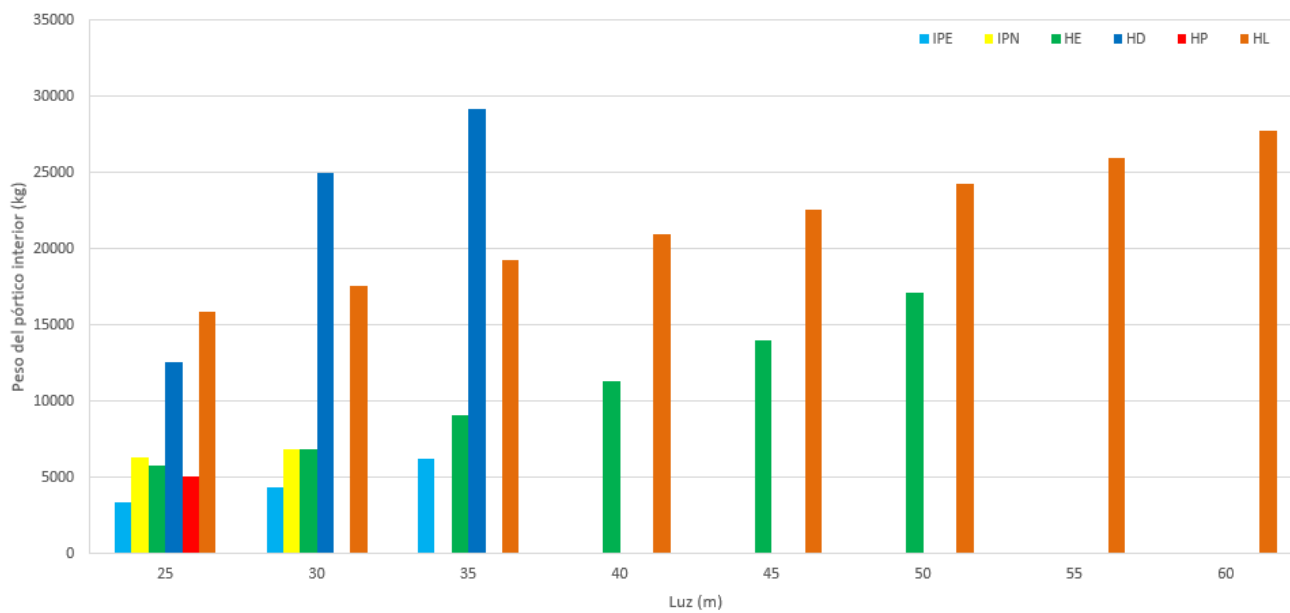


Figura 63. Peso de los perfiles simples según variación en la luz de la estructura para crujías de 7 metros.

En el caso de crujías de 7 metros, como cabe esperar, se puede ver un crecimiento del peso en cada caso, y, además, se puede observar que dicho incremento en todos los perfiles mantiene el perfil IPE como perfil con menor peso del estudio hasta luces de 35 metros (máxima viable en este caso).

Siguiendo la línea del caso anterior, los perfiles HE y HL son los que mayor peso tienen, y, además, son los que mayores luces cubren. Como se ha comentado durante todo el estudio, este tipo de perfiles HL nunca podrán ser los óptimos para este tipo de naves, ya que como se ha visto, utilizan el perfil mínimo de la serie.

Cabe destacar el gran peso que tienen los perfiles HD en comparación con los demás perfiles simples, superando incluso a los perfiles HL. Este hecho hace que se descarten como opción en un estudio donde se busca conseguir configuraciones con el menor peso posible.

### 1.8.2. Vigas alveoladas

#### Crujía 4 metros

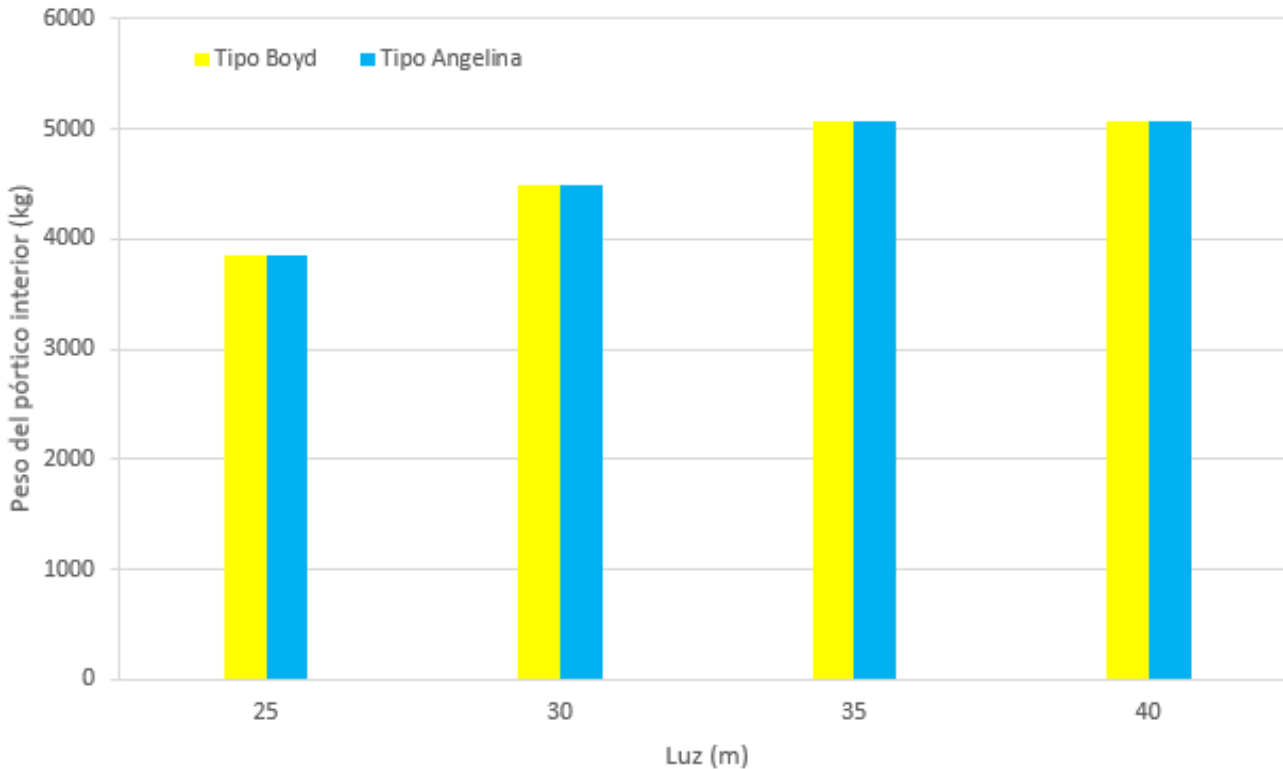


Figura 64. Peso de los perfiles Boyd y Angelina según variación en la luz de la estructura para crujías de 4 metros.

Se trata de perfiles IPE aligerados (tienen huecos a lo largo del mismo) que se comportan mejor ante esfuerzos de flexión, debido a su configuración (mayor canto sin un aumento tan grande del peso propio). Por ello, se puede apreciar una transición del peso con respecto a los perfiles IPE, empezando los primeros casos siendo mayor y, a medida que aumenta la luz, el peso de este tipo de estructuras se estabiliza y, por tanto, el peso de la nave no aumenta. Como se puede observar en la Figura 64, a partir de 40 metros de luz estos perfiles permiten configuraciones con menos peso (kg).

Esto es lógico, debido a que, al comportarse mejor ante esfuerzos de flexión, no se requiere tanto crecimiento de peso con cada incremento de luz, por lo que la diferencia se hace cada vez más notable a mayores luces.

Cabe mencionar que tanto los perfiles Boyd como los Angelina son muy similares, dando soluciones con un peso prácticamente igual a lo largo de todo el estudio.

## Crujía 7 metros

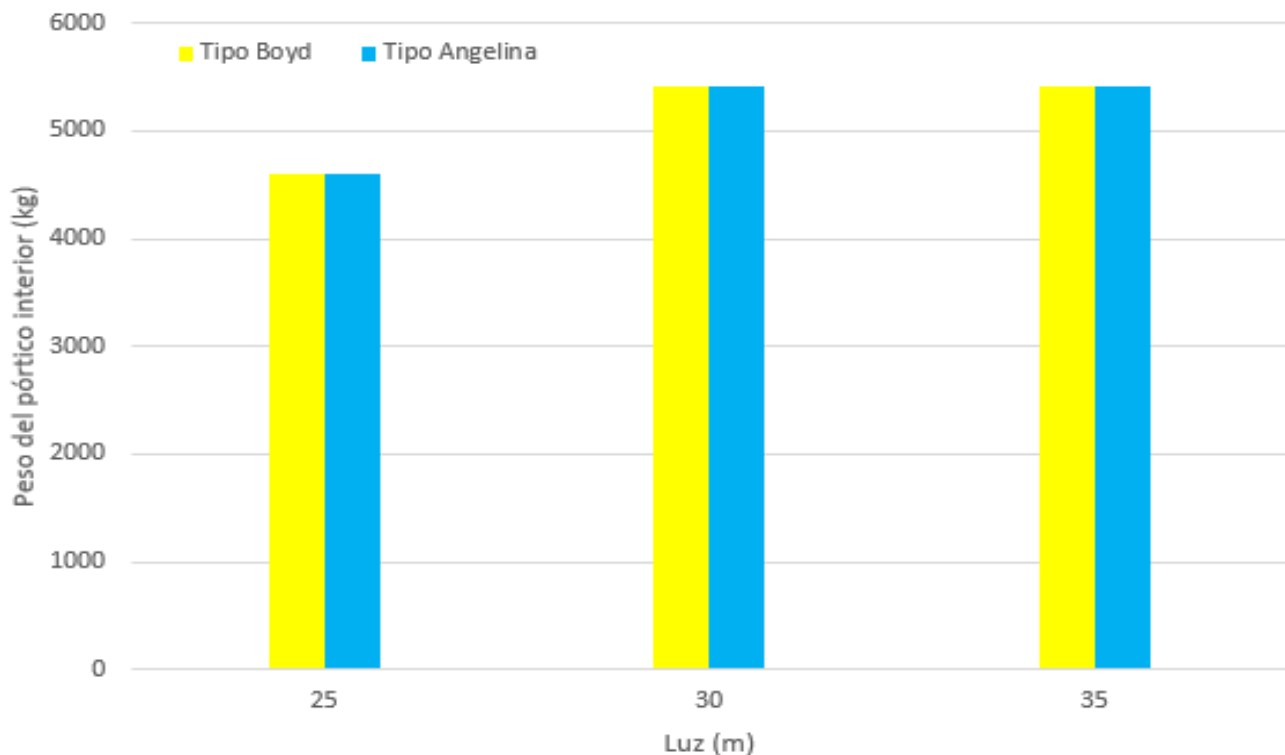


Figura 65. Peso de los perfiles Boyd y Angelina según variación en la luz de la estructura para crujías de 7 metros.

En este caso, ocurre algo similar al anterior, el peso de estos perfiles es estable, lo cual indica que el perfil no sufre variaciones fuertes a medida que incrementa la luz de la estructura. Debido a que las luces máximas son relativamente bajas, no se puede apreciar una disminución considerable de peso con respecto a los perfiles IPE. Sin embargo, se observa que para luces de 35 metros estos perfiles permiten configuraciones con menos peso (kg).



### 1.8.3. Celosías

#### Crujía 4 metros

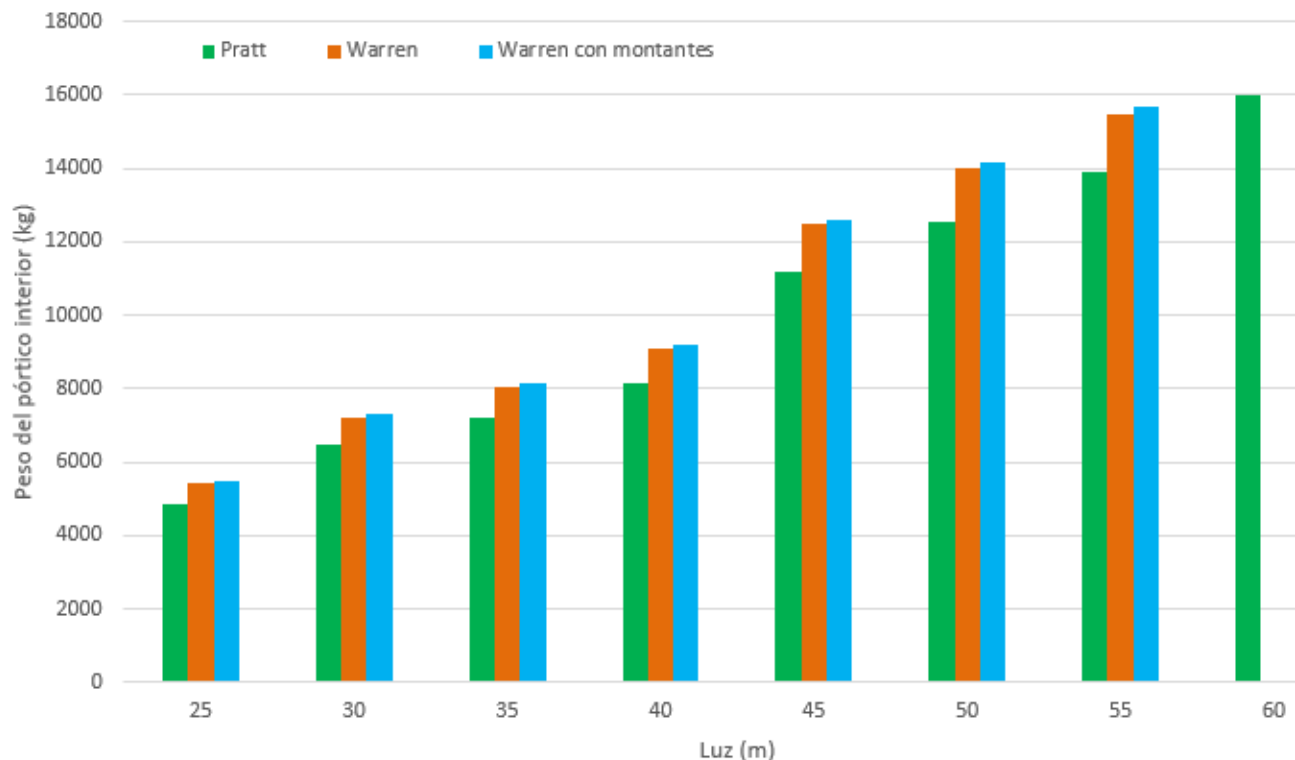


Figura 66. Peso de las celosías según variación en la luz de la estructura para crujías de 4 metros.

Según se puede observar en la Figura 66, la tendencia es claramente incremental con la luz. Las celosías tipo Pratt son las que menos peso necesitan para cumplir las solicitaciones con respecto a las del tipo Warren. Este menor peso, viene dado por su mejor comportamiento frente a esfuerzos de flexión.

Se trata de configuraciones que soportan luces muy grandes, y, además, maximizan su rendimiento en estas situaciones, ya que para luces pequeñas pesan más que los perfiles simples IPE. Esto es debido a que su propia celosía tiene un peso muy elevado, con el cual no es muy aprovechado en luces relativamente bajas.

Es interesante mencionar que las celosías tipo Pratt son las que mayores luces soportan, y, además, como ya se ha analizado anteriormente, las celosías tipo Warren y Warren con montantes producen resultados similares, tal y como se puede apreciar.

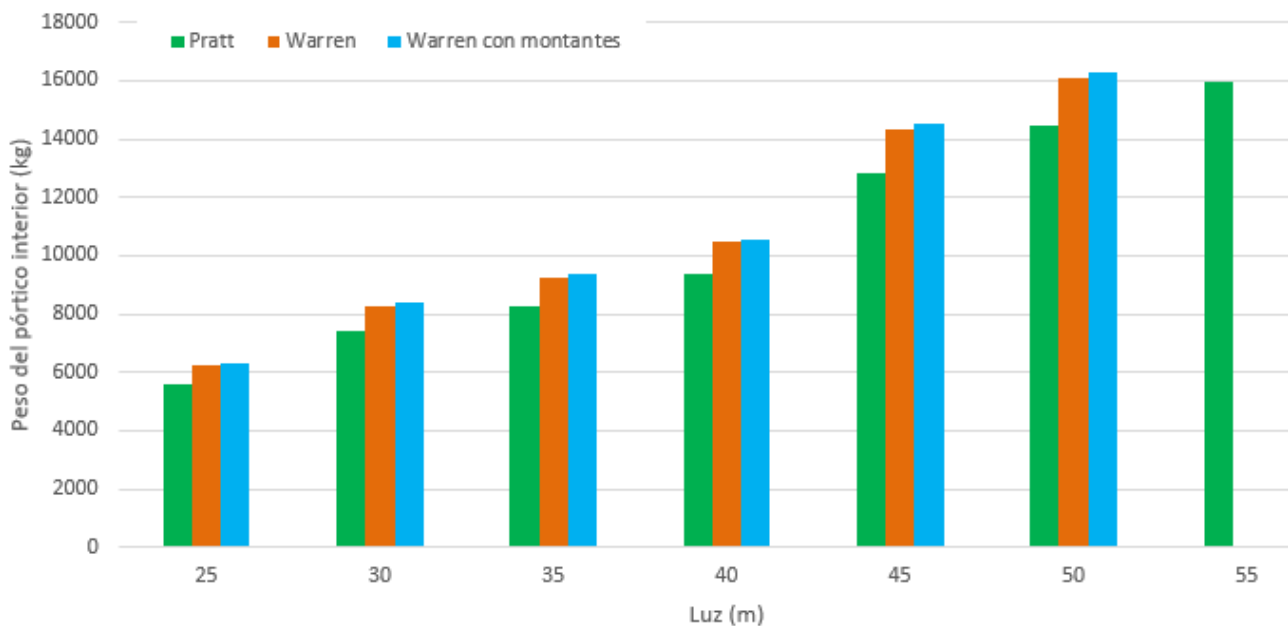
**Crujía 7 metros**

Figura 67. Peso de las celosías según variación en la luz de la estructura para crujías de 7 metros.

Como con crujías de 4 metros, a pesar de que los tres casos son muy similares, la celosía Pratt es la que mejor responde ante esfuerzos de flexión, y, por tanto, la que menor perfil necesita para poder cumplir con los requerimientos de la norma. Además, se puede observar que es la única celosía que produce soluciones viables con 7 metros de crujía para luces de 55 metros.

#### 1.8.4. Conclusiones

En este apartado, se muestra una tabla comparativa entre todos los casos estudiados, pudiendo observar los perfiles viables para cada caso y, además, los perfiles óptimos (según criterio económico) para una luz y crujía determinadas.

Esta tabla resulta una herramienta de consulta muy útil a la hora de la toma de decisiones en la fase de diseño de naves industriales ya que orienta hacia la elección más eficiente desde el punto de vista económico.

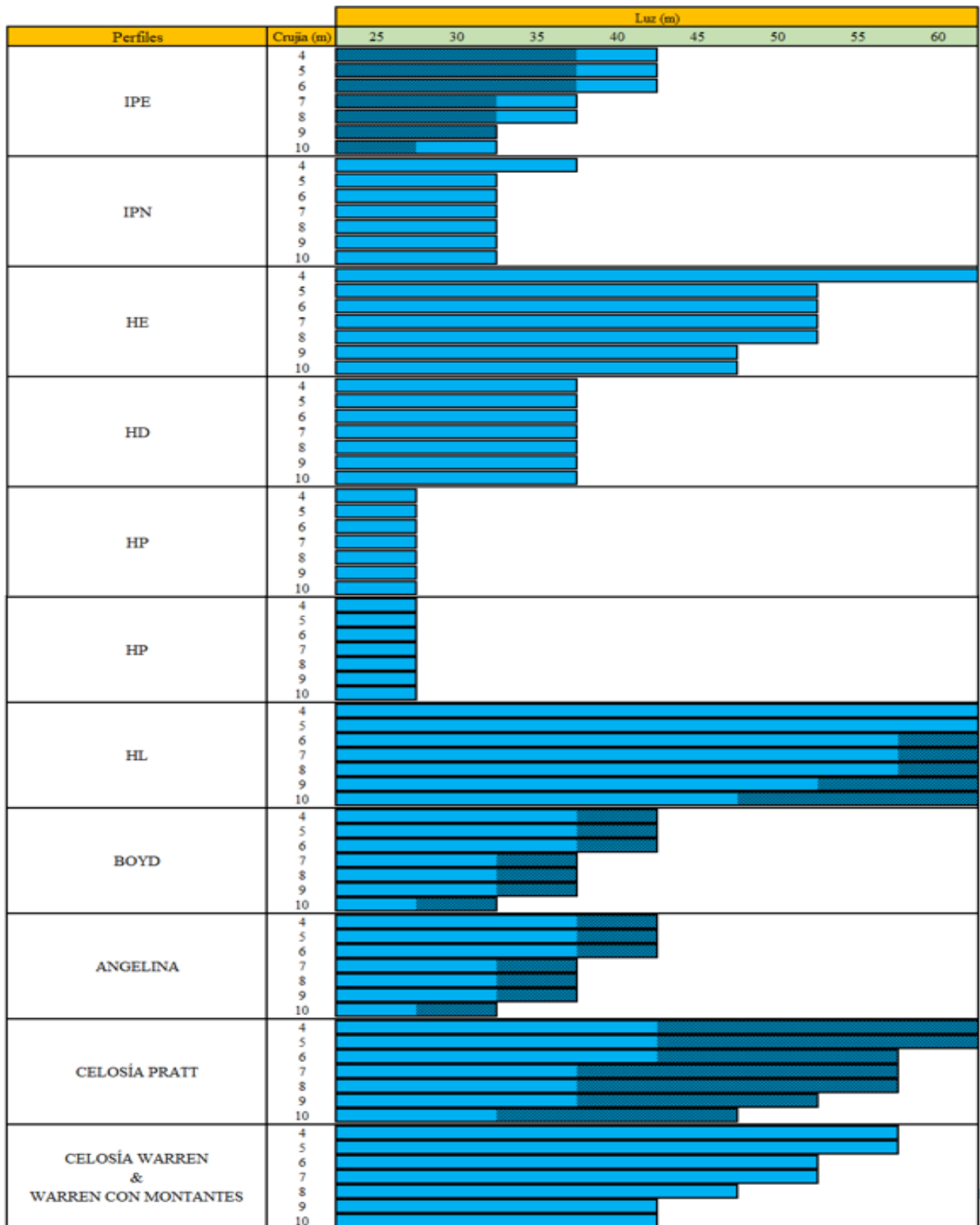


Figura 68. Comparativa final entre perfiles.



Como se puede apreciar en la Figura 68, se trata de una tabla comparativa entre los perfiles simples, vigas alveoladas (tipo Boyd y tipo Angelina) y las celosías presentadas anteriormente. A continuación, se detallarán los aspectos más relevantes del estudio:

- Para luces pequeñas (inferiores a 40 metros), los perfiles IPE son los perfiles óptimos según el criterio económico, debido a la buena relación entre el peso propio del perfil y su capacidad para soportar esfuerzos de flexión.
- Tal y como se preveía, de manera general, una vez los perfiles IPE dejan de ser óptimos (esto ocurre prácticamente cuando dejan de ser viables), toman el relevo los perfiles aligerados, tanto tipo Boyd como tipo Angelina (mismo peso). Esto es debido a que los perfiles aligerados son perfiles IPE con huecos intermedios y mayor canto, lo que les proporciona una mayor capacidad para soportar esfuerzos a flexión con un menor peso.
- Como ya se había comentado, las celosías son empleadas para luces grandes y, tal y como se aprecia en la Figura 68, a partir de luces de 45 metros para crujiás bajas ( $\leq 6$  metros) y 40 metros para crujiás más altas ( $> 6$  metros) la celosía tipo Pratt es la que encabeza la lista en cuanto a menor peso por pórtico.
- A partir de crujiás de 6 metros hacia delante, las celosías tipo Pratt dejan de ser viables para luces máximas (60 metros), por lo que, para esos casos, el perfil óptimo es el perfil simple HL. A pesar de que se trata de un perfil poco eficiente frente a esfuerzos a flexión (debido a ello requiere perfiles grandes desde el inicio del estudio), es el único caso que soporta dichas dimensiones (siempre teniendo en cuenta los límites del presente estudio), y, por tanto, se trata del perfil escogido para dichos casos.
- Es interesante destacar que a pesar de que los perfiles simples son viables para luces bajas (de manera general), ninguno de ellos tiene menos peso que los perfiles IPE para cumplir con las solicitaciones límite. De hecho, el perfil que presenta el segundo menor peso es el perfil HE y, sin embargo, pesan casi el doble que los perfiles IPE.
- Las vigas alveoladas tipo Boyd y tipo Angelina cubren los mismos casos de estudio, debido a la similitud del área de los huecos del perfil. No se aprecian prácticamente diferencias en los perfiles elegidos y, por tanto, no se aprecian diferencias significativas en el peso total.

## 1.9. Presupuesto

Tabla 13. Presupuesto resumido del proyecto.

Descripción	Precio (€)
<b>Horas de trabajo</b>	27000
<b>Licencia Software</b>	5998
<b>Total (con IVA)</b>	<b>39928</b>

# DOCUMENTO 2

## ANEXOS



## 2. ANEXO DE CÁLCULOS

En el presente apartado, se va a describir el proceso seguido para la obtención de todos los resultados mostrados en la Memoria. Debido a la gran cantidad de casos analizados y, a que únicamente se ha ido variando la geometría de la nave, se mostrará el proceso a seguir para una nave general.

### 2.1. Condiciones iniciales

Se trata de una nave a dos aguas definida por las siguientes geometrías y dimensiones:

- Luz: variable entre 25 metros y 60 metros (en intervalos de 5 metros).
- Crujía: variable entre 4 metros y 10 metros (en intervalos de 1 metro).
- Altura lateral: 10 metros.
- Altura central: 14 metros.
- Número de vanos: 8.
- Situación geográfica: Castellón de la Plana.

La estructura tiene cerramientos, en los laterales y cubierta, tipo panel sándwich ( $0,15 \text{ KN/m}^2$ ). La opción del programa CYPE de generación de huecos, está desactivada.

En ambos lados de las fachadas (tanto frontales como laterales) se han colocado Cruces de San Andrés (sometidos a esfuerzos de tracción).

### 2.2. Materiales

Los materiales estudiados son:

- Acero S275, S235 y B500S: Se trata de aceros laminados en caliente, y cada uno es utilizado para un determinado cometido. El Aero S275, está ampliamente utilizado para luces de San Andrés y para las placas de anclaje de la nave. Sin embargo, el S235, se emplea para montantes (VCV). Por último, el hacer B500S está ampliamente empleado en el armado de las zapatas, vigas de atado y pernos. A continuación, se muestran las propiedades de cada uno:
- Acero S275:

Tabla 14. Características del acero S275.

Módulo de elasticidad (E)	Módulo de rigidez (G)	Límite elástico ( $f_y$ )	Densidad ( $\rho$ )	Tensión de rotura ( $f_u$ )	Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )	Coefficiente de dilatación térmica ( $\alpha$ )
210 GPa	81 MPa	275 MPa	7850 Kg/m <sup>3</sup>	410 MPa	0.33	$1.2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

- Acero S235:

Tabla 15. Características del acero S235.

Módulo de elasticidad (E)	Módulo de rigidez (G)	Límite elástico ( $f_y$ )	Densidad ( $\rho$ )	Tensión de rotura ( $f_u$ )	Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )	Coefficiente de dilatación térmica ( $\alpha$ )
210 GPa	81 MPa	235 MPa	7850 Kg/m <sup>3</sup>	360 MPa	0.33	1.2·10 <sup>-5</sup> °C <sup>-1</sup>

- Acero B550S:

Tabla 16. Características del acero B500s

Módulo de elasticidad (E)	Módulo de rigidez (G)	Límite elástico ( $f_y$ )	Densidad ( $\rho$ )	Tensión de rotura ( $f_u$ )	Coefficiente de Poisson ( $\nu$ )
210 GPa	81 MPa	500 MPa	7850 Kg/m <sup>3</sup>	550 MPa	0.33

### 2.3. Acciones

El programa CYPE calcula las acciones en cada uno de los pórticos de manera automática, permitiendo el cálculo de las correas de cubierta y laterales. No obstante, a continuación, se detallan las acciones consideradas para el cálculo de la estructura:

- Acciones permanentes: se trata de acciones que no dependen del entorno exterior de la estructura.
  - o Peso propio.
- Acciones variables: son acciones que no permanecen constantes con el paso del tiempo, es decir, varían en cada momento.
  - o Viento.
  - o Sobrecarga de uso.
  - o Acciones térmicas.
  - o Nieve.

### 2.4. Pandeo

El software CYPE 3D asigna automáticamente a cada elemento un valor de pandeo. Sin embargo, para la realización del presente proyecto, el pandeo se basa en lo que establece el CTE-DB-SE-A. Siguiendo la Tabla 16:

Tabla 17. Longitud equivalente de pandeo en función de los extremos de la barra.

Condiciones de extremo	biarticulada	biempotrada	empotrada articulada	biempotrada desplazable	en ménsula
Longitud $L_k$	1,0 L	0,5 L	0,7 L	1,0 L	2,0 L



Se consideran dos planos de pandeo, el débil y el fuerte, siendo el débil el XY y el fuerte el XZ.

### 2.4.1. Jácenas

- Plano XY → Se trata del plano perpendicular al pórtico con un valor de coeficiente  $\beta$  cero, teniendo el pandeo impedido debido a las correas.
- Plano XZ → Es el plano paralelo al pórtico. Estando siempre del lado de la seguridad, se considera la jácena como una barra biapoyada. Por tanto, el coeficiente de pandeo  $\beta$  será 1. Para el caso particular de las jácenas de los pórticos interiores, el pandeo se obtiene con la longitud equivalente.

### 2.4.2. Pilares

La nave se ha agrupado en varios grupos, los pilares interiores de fachada forman un grupo y, como referencia, se estudia el pilar central, es decir, el de mayor altura. El plano del pórtico de la estructura es intraslacional debido a las cruces de San Andrés dispuestas, reduciendo su radio de giro y obteniendo una beta de pandeo igual a 0,7 para ambos planos (barra empotrada-articulada, por lo que en la base están empotrados y en la cabeza apoyados).

En cuanto a los pilares exteriores, se obtiene un comportamiento similar a los pilares interiores, por lo que el valor del coeficiente de pandeo será 0,7.

### 2.4.3. Pilares del pórtico interior

Estos pilares son distintos a los pilares de fachada debido a la unión rígida entre la jácena y el mismo pilar. Por esta razón, la longitud de pandeo en ambos elementos viene dada por:

$$L_k = \beta \cdot L$$

Siendo L la longitud real del pilar.

El coeficiente  $\beta$  se calcula a partir de lo dispuesto anteriormente en el artículo 6.3.2.5 del DB-SE-A mediante la siguiente expresión:

$$\beta = \sqrt{\frac{1 - 0,2 \cdot (n_1 + n_2) - 0,12 \cdot n_1 \cdot n_2}{1 - 0,8 \cdot (n_1 + n_2) + 0,6 \cdot n_1 \cdot n_2}} \geq 1$$

$n_1$  y  $n_2$  son los coeficientes de distribución superior e inferior, respectivamente, relacionados con la libertad de giro de los extremos de la barra.

Por lo tanto, y, respecto al pandeo de los mismos se tiene que el pandeo para los pilares interiores será de 1,4 (traslacional) en el plano del pórtico y, 0,7 (intraslacional, debido a los arriostramientos en el plano lateral) en el plano perpendicular al pórtico.

#### **2.4.4. Viga perimetral**

El coeficiente de pandeo es cero, debido a que son elementos que trabajan a tracción.

#### **2.4.5. Diagonales de arriostramiento**

Las diagonales de arriostramiento se han definido como tirantes, por lo que su pandeo es cero.

#### **2.4.6. Montantes**

Los montantes tienen un coeficiente de pandeo igual a uno, debido a que son barras biarticuladas que trabajan a compresión.

### **2.5. Cerramientos**

Para todos los casos, se diferencian dos tipos de cerramientos a la hora de definir la nave en el módulo de generador de pórticos en CYPE:

- Cerramientos en cubierta → la estructura posee una cubierta tipo Sándwich cuyo espesor total es de 80 mm, siendo el peso del panel de  $0,15 \text{ kN/m}^2$ . Este tipo de paneles dispone de una gran resistencia mecánica, asegurando su estanqueidad. Este tipo de cerramientos irá atornillado.
- Cerramientos laterales → también son tipo Sándwich, con un peso de  $0,1 \text{ kN/m}^2$ . Tienen una estanqueidad muy elevada y, además, con una resistencia mecánica muy buena.

### **2.6. Cubierta**

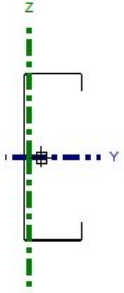
La cubierta de la nave lleva correas (tanto en el lateral de la nave como en la cubierta como tal). Se han utilizado correas tipo CF con las siguientes características (para ambos casos):

- Flecha límite:  $L/300$  debido a que son elementos de flexión.
- Acero empleado: S235.
- Número de vanos: 1 vano.
- Tipo de fijación: Rígida.
- Separación entre correas de 1 metro (variable en algunos casos).

Para cada caso concreto de geometría de la nave, las correas van cambiando su valor. Por tanto, debido al gran número de casos estudiados, se va a presentar a modo de ejemplo un caso concreto de correas elegidas para luces de 40 metros y crujías de 7 metros en CYPE (módulo generador de pórticos):

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Aprovechamiento: 65.35 %


Barra pésima en cubierta

Perfil: CF-225x2.5 Material: S235										
	Nudos			Longitud (m)	Características mecánicas					
	Inicial	Final	Área (cm <sup>2</sup> )		I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	z <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	
	0.588, 56.000, 10.118		0.588, 49.000, 10.118	7.000	10.46	806.27	90.72	0.22	-16.21	0.00
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad									
		Pandeo		Pandeo lateral						
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.					
	β	0.00	1.00	0.00	0.00					
	L <sub>K</sub>	0.000	7.000	0.000	0.000					
	C <sub>1</sub>	-		1.000						
	Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico									

Barra	b / t	λ	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	M <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	N <sub>t</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	N <sub>c</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	Estado
pésima en cubierta	b / t ≤ (b / t) <sub>Máx.</sub> Cumple	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(3)	x: 3.5 m η = 65.3	N.P.(4)	N.P.(5)	N.P.(6)	x: 0 m η = 9.8	N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(9)	N.P.(10)	CUMPLE η = 65.3

Comprobación de resistencia
El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.
Aprovechamiento: 71.87 %

Barra pésima en lateral

Perfil: CF-225x2.5 Material: S235										
	Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas						
	Inicial	Final		Área (cm <sup>2</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	z <sub>g</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	
	0.000, 7.000, 0.600	0.000, 0.000, 0.600	7.000	10.46	806.27	90.72	0.22	-16.21	0.00	
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad									
	Pandeo			Pandeo lateral						
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.		Ala inf.				
	β	0.00	1.00	0.00		0.00				
	L <sub>K</sub>	0.000	7.000	0.000		0.000				
	C <sub>1</sub>	-			1.000					
	Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico									

Barra	b / t	λ	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>	M <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	V <sub>y</sub>	V <sub>z</sub>	N <sub>t</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	N <sub>c</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub>	NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	M <sub>t</sub> NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub>	Estado
pésima en lateral	b / t ≤ (b / t) <sub>Máx.</sub> Cumple	N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(3)	x: 3.5 m η = 71.9	N.P.(4)	N.P.(5)	N.P.(6)	x: 7 m η = 11.0	N.P.(7)	N.P.(8)	N.P.(9)	N.P.(10)	CUMPLE η = 71.9

Se puede apreciar perfectamente el perfil elegido, el material, la separación entre las correas y los demás parámetros que nos proporciona el software para corroborar que cumple con las especificaciones límite.

## 2.7. Flecha

En cuanto al valor otorgado para la flecha, se ha definido una flecha máxima  $L/250$  para pilares y, en cuanto al resto de elementos que intervienen se ha aplicado una flecha  $L/300$ . Para realizar estas consideraciones, se ha tenido en cuenta el DB-SE (apartado 4.3.3).

Los elementos a tracción/compresión no requieren una definición de flecha previa.

## 2.8. Hipótesis más desfavorables

En este apartado se puede comprobar las hipótesis más desfavorables que proporciona el software CYPE tras el estudio de la estructura. Se trata de una combinación de cargas que afectan al dimensionamiento de la nave que, en el caso de obviar alguna hipótesis, podría incurrir en problemas para la misma.

A modo de ejemplo, se mostrará un caso sacado de CYPE para perfiles IPE con luces de 30 metros (cubriendo todas las crujías):

Tabla 18. Hipótesis más desfavorable para luces de 30 metros (perfil IPE).

Crujía (m)	Pilar	Jácena
4	$0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H1$	$0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$
5	$0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$	$0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$
6	$0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$	$0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$
7	$0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$	$0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$
8	$0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$	$0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$
9	$0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$	$0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$
10	$0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$	$1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(R)2$

Como se puede apreciar, las hipótesis raramente varían entre perfiles, sin embargo, es importante tener todas las hipótesis en cuenta a la hora de calcular las estructuras, debido a que la configuración de la nave varía en función de esto.

Los demás casos se pueden obtener del software CYPE 3D tras haber calculado la nave.

## 2.9. Placas de anclaje

A pesar que el estudio no contemplaba la optimización de placas de anclaje ni elementos de cimentación. Es un elemento a tener en cuenta en el desarrollo del proyecto. Para el presente estudio, las placas de anclaje se han agrupado en cuatro grupos distintos, siendo:

- Pilares centrales de fachada.
- Pilares interiores de fachada.
- Pilares esquineros.
- Pilares de los pórticos interiores.

Estos elementos tienen rigidizadores y pernos atornillados con arandela, tuerca y contratuerca. Para el correcto funcionamiento de las placas, se requieren una serie de comprobaciones:

- Hormigón sobre el que apoya la placa
  - Se comprueba que la tensión de compresión en la interfaz placa de anclaje-hormigón es menor a la tensión admisible del hormigón, según la naturaleza de cada combinación.
- Pernos de anclaje
  - Resistencia del material de los pernos: Se descomponen los esfuerzos actuantes sobre la placa en axiles y cortantes en los pernos y se comprueba que ambos esfuerzos, por separado y con interacción entre ellos (tensión de Von Mises), producen tensiones menores a la tensión límite del material de los pernos.
  - Anclaje de los pernos: Se comprueba el anclaje de los pernos en el hormigón de tal manera que no se produzca el fallo de deslizamiento por adherencia, arrancamiento del cono de rotura o fractura por esfuerzo cortante (aplastamiento).
  - Aplastamiento.
- Placa de anclaje
  - Tensiones globales.
  - Flechas globales relativas: Se comprueba que en los vuelos de las placas no aparezcan flechas mayores que  $1/250$  del vuelo.
  - Tensiones locales: Se comprueban las tensiones de Von Mises en todas las placas locales en las que tanto el perfil como los rigidizadores dividen a la placa de anclaje propiamente dicha.

## **2.10. Cimentación**

La cimentación se llevará a cabo mediante la colocación de zapatas de hormigón armado y será la encargada de soportar la estructura. Previamente a la colocación de las mismas y sobre la superficie de excavación se colocará una capa de hormigón de limpieza (para la colocación adecuada de los separadores de la armadura), de 10 cm de espesor.

La cimentación de la estructura se ha realizado mediante zapatas aisladas unidas a través de las vigas de atado. A continuación, se desarrollan brevemente dichos elementos.

### **2.10.1. Hormigón de limpieza**

Se trata de una capa de 10 cm de espesor de hormigón que se vierte previamente para nivelar el terreno y evitar que se generen asientos diferenciales entre las diferentes zapatas y vigas de atado.

### **2.10.2. Zapatas**

El principal objetivo de las zapatas es transmitir la carga al subsuelo a una presión adecuada a las propiedades del suelo.

### **2.10.3. Vigas de atado**

Son elementos estructurales de hormigón armado que unen dos o más zapatas, resistiendo esfuerzos a tracción.

## **2.11. Comprobaciones en CYPE**

En el siguiente apartado, se van a mostrar las comprobaciones que se obtienen en el CYPE para las soluciones presentadas. Debido a la gran cantidad de datos y de información, únicamente se va a mostrar las comprobaciones ELU completas del pórtico interior (sólo de un caso particular, siguiendo el mismo procedimiento los demás casos estudiados), y, a continuación, las comprobaciones ELU resumidas de los demás elementos (pilar del pórtico de fachada, tramo de jácena de fachada, montante y diagonal VCV):

- ELU completo para el pórtico interior (luz = 25 metros, crujía = 4 metros):

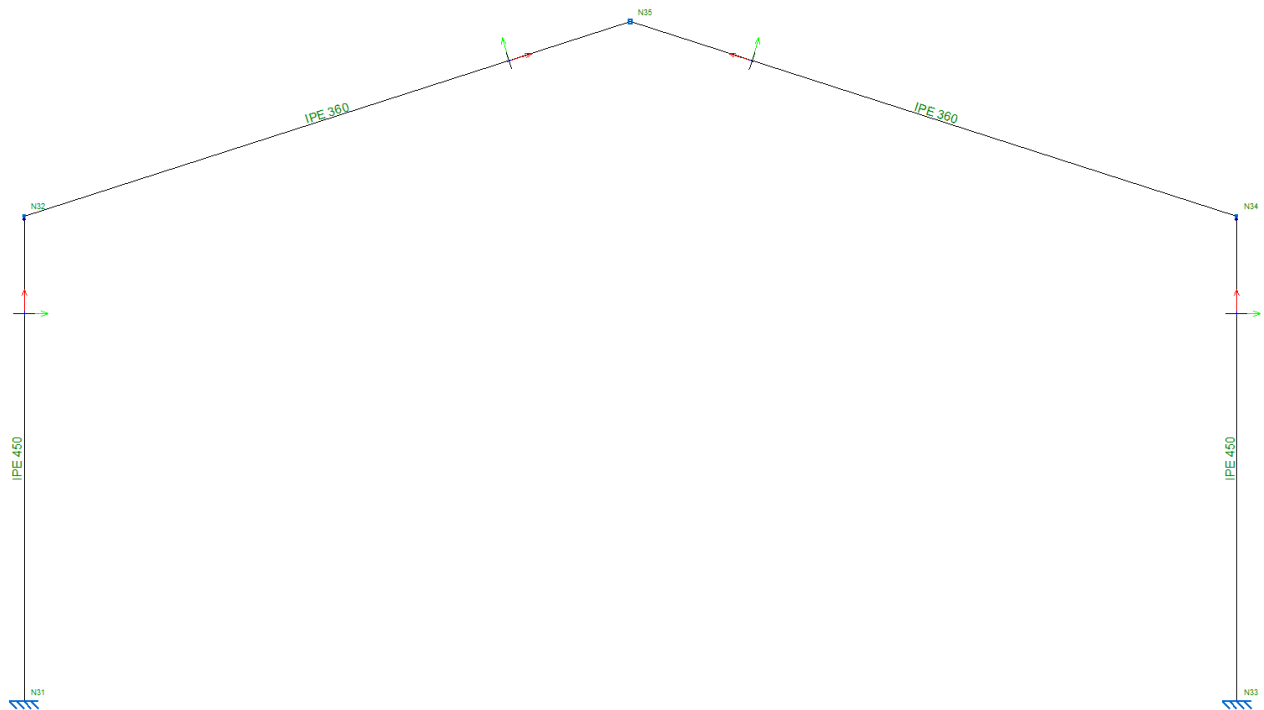
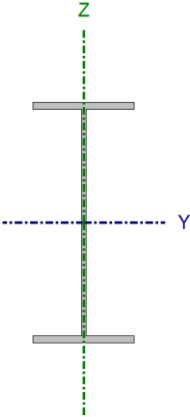


Figura 69. Pórtico interior tipo (caso particular IPE).

### Comprobaciones E.L.U. (Completo)

Barra N31/N32

Perfil: IPE 450 Material: Acero (S275)							
	Nodos		Longitud (m)	Características mecánicas			
	Inicial	Final		Área (cm²)	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm4)	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm4)	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm4)
	N31	N32	10.000	98.80	33740.00	1676.00	66.90
	Notas:						
	<sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado						
	<sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
	β	0.00	0.00	0.00	0.00		
	L <sub>K</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
C <sub>1</sub>	-		1.000				
Notación:							
β: Coeficiente de pandeo							
L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m)							
C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos							
C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico							

### Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$$\bar{\lambda} < \underline{0.01} \quad \checkmark$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{4}$$

**A<sub>ef</sub>:** Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$\text{A}_{ef} : \underline{93.67} \text{ cm}^2$$

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$\text{f}_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo mínimo, teniendo en cuenta que las longitudes de pandeo son nulas.

$$\text{N}_{cr} : \underline{\infty}$$

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$44.77 \leq 273.56 \quad \checkmark$$

Donde:

**h<sub>w</sub>:** Altura del alma.

$$\text{h}_w : \underline{420.80} \text{ mm}$$

**t<sub>w</sub>:** Espesor del alma.

$$\text{t}_w : \underline{9.40} \text{ mm}$$

**A<sub>w</sub>:** Área del alma.

$$\text{A}_w : \underline{39.56} \text{ cm}^2$$

**A<sub>fc,ef</sub>:** Área reducida del ala comprimida.

$$\text{A}_{fc,ef} : \underline{27.74} \text{ cm}^2$$

**k:** Coeficiente que depende de la clase de la sección.

$$\text{k} : \underline{0.30}$$

**E:** Módulo de elasticidad.

$$\text{E} : \underline{210000} \text{ MPa}$$

**f<sub>yf</sub>:** Límite elástico del acero del ala comprimida.

$$\text{f}_{yf} : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

Siendo:

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.010} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

**N<sub>t,Ed</sub>:** Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$\text{N}_{t,Ed} : \underline{26.46} \text{ kN}$$



La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{2587.62} \text{ kN}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{98.80} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.023} \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N31, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{57.61} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} : \underline{2453.21} \text{ kN}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

$$\text{Clase} : \underline{4}$$

$A_{ef}$ : Área de la sección eficaz para las secciones de clase 4.

$$A_{ef} : \underline{93.67} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo son nulas.

**Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.788} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N31, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H1$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{253.20} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N31, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{351.23} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{445.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{1702.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{mo}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{mo} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.047} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N31, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(90^\circ)H1 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{3.34} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N31, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$ .

$M_{Ed}$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$M_{Ed}$  : 3.40 kN·m

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$M_{c,Rd}$  : 72.29 kN·m

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

**Clase** : 1

$W_{pl,z}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}$  : 276.00 cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$  : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$  : 1.05

### Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$\eta$  : 0.058 ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N31, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(180^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$  : 44.91 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$V_{c,Rd}$  : 768.52 kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$  : 50.82 cm<sup>2</sup>

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$h$  : 450.00 mm

$t_w$ : Espesor del alma.

$t_w$  : 9.40 mm

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd}$  : 261.90 MPa

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$ : 275.00 MPa

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0}$ : 1.05

**Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$40.30 < 64.71$$



Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$\lambda_w$ : 40.30

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : 64.71

$\epsilon$ : Factor de reducción.

$\epsilon$ : 0.92

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$f_{ref}$ : 235.00 MPa

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y$ : 275.00 MPa

**Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta < \underline{0.001}$$



El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{Ed}$ : 0.34 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$V_{c,Rd}$ : 895.85 kN

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$A_v$ : 59.24 cm<sup>2</sup>

Siendo:

$A$ : Área de la sección bruta.

$A$ : 98.80 cm<sup>2</sup>

**d:** Altura del alma.

**d :** 420.80 mm

**t<sub>w</sub>:** Espesor del alma.

**t<sub>w</sub> :** 9.40 mm

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

**f<sub>yd</sub> :** 261.90 MPa

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**γ<sub>Mo</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

**γ<sub>Mo</sub> :** 1.05

### **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V<sub>c,Rd</sub>**.

$$44.91 \text{ kN} \leq 384.26 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N31, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

**V<sub>Ed</sub>:** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub> :** 44.91 kN

**V<sub>c,Rd</sub>:** Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

**V<sub>c,Rd</sub> :** 768.52 kN

### **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V<sub>Ed</sub>** no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante **V<sub>c,Rd</sub>**.

$$0.34 \text{ kN} \leq 447.92 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N31, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(270°)H1.

**V<sub>Ed</sub>:** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

**V<sub>Ed</sub> :** 0.34 kN

**V<sub>c,Rd</sub>:** Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

**V<sub>c,Rd</sub> :** 895.85 kN

### Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.809} \quad \checkmark$$

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sub>simos</sub> se producen en el nudo N31, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo p<sub>simos</sub>.

$$N_{c,Ed} : \underline{50.13} \text{ kN}$$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo p<sub>simos</sub>, según los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{y,Ed} : \underline{351.23} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{z,Ed} : \underline{0.13} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$$N_{pl,Rd} : \underline{2587.62} \text{ kN}$$

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$M_{pl,Rd,y} : \underline{445.76} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : \underline{72.29} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

No procede, dado que tanto las longitudes de pandeo como las longitudes de pandeo lateral son nulas.

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo p<sub>simos</sub>  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo p<sub>simos</sub> se producen en el nudo N31, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·V(180°)H2+0.75·N(EI).

$$44.91 \text{ kN} \leq 384.26 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo p<sub>simos</sub>.

$$V_{Ed,z} : \underline{44.91} \text{ kN}$$

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} : \underline{768.52} \text{ kN}$$

### Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

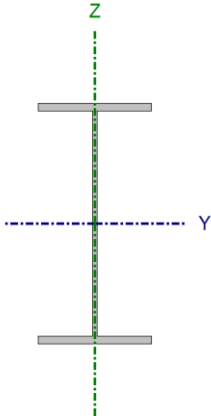
### Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Barra N32/N35

Perfil: IPE 360 Material: Acero (S275)								
		Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
		Inicial	Final		Área (cm²)	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm4)	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm4)	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm4)
		N32	N35	13.124	72.70	16270.00	1043.00	37.30
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme								
		Pandeo			Pandeo lateral			
		Plano XY		Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
$\beta$		0.00		1.90	0.00	0.00		
$L_K$		0.000		25.000	0.000	0.000		
$C_m$		1.000		1.000	1.000	1.000		
$C_1$		-			1.000			
Notación: $\beta$ : Coeficiente de pandeo $L_K$ : Longitud de pandeo (m) $C_m$ : Coeficiente de momentos $C_1$ : Factor de modificación para el momento crítico								

### Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida  $\bar{\lambda}$  de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$  : **1.92** ✓

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**Clase :** 3

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

**A :** 72.70 cm<sup>2</sup>

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**f<sub>y</sub> :** 275.00 MPa

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico de pandeo elástico.

**N<sub>cr</sub> :** 539.54 kN

El axil crítico de pandeo elástico **N<sub>cr</sub>** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

**N<sub>cr,y</sub> :** 539.54 kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

**N<sub>cr,z</sub> :** ∞

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

**N<sub>cr,T</sub> :** ∞

Donde:



<b>I<sub>y</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	<b>I<sub>y</sub></b> : <u>16270.00</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>z</sub></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	<b>I<sub>z</sub></b> : <u>1043.00</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>t</sub></b> : Momento de inercia a torsión uniforme.	<b>I<sub>t</sub></b> : <u>37.30</u> cm <sup>4</sup>
<b>I<sub>w</sub></b> : Constante de alabeo de la sección.	<b>I<sub>w</sub></b> : <u>314000.00</u> cm <sup>6</sup>
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> : <u>210000</u> MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidad transversal.	<b>G</b> : <u>81000</u> MPa
<b>L<sub>ky</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	<b>L<sub>ky</sub></b> : <u>25.000</u> m
<b>L<sub>kz</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	<b>L<sub>kz</sub></b> : <u>0.000</u> m
<b>L<sub>kt</sub></b> : Longitud efectiva de pandeo por torsión.	<b>L<sub>kt</sub></b> : <u>0.000</u> m
<b>i<sub>0</sub></b> : Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión.	<b>i<sub>0</sub></b> : <u>15.43</u> cm

Siendo:

<b>i<sub>y</sub> , i<sub>z</sub></b> : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	<b>i<sub>y</sub></b> : <u>14.96</u> cm
	<b>i<sub>z</sub></b> : <u>3.79</u> cm
<b>y<sub>0</sub> , z<sub>0</sub></b> : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	<b>y<sub>0</sub></b> : <u>0.00</u> mm
	<b>z<sub>0</sub></b> : <u>0.00</u> mm

**Abolladura del alma inducida por el ala comprimida** (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

$$41.83 \leq 255.09 \quad \checkmark$$

Donde:

<b>h<sub>w</sub></b> : Altura del alma.	<b>h<sub>w</sub></b> : <u>334.60</u> mm
<b>t<sub>w</sub></b> : Espesor del alma.	<b>t<sub>w</sub></b> : <u>8.00</u> mm
<b>A<sub>w</sub></b> : Área del alma.	<b>A<sub>w</sub></b> : <u>26.77</u> cm <sup>2</sup>
<b>A<sub>fc,ef</sub></b> : Área reducida del ala comprimida.	<b>A<sub>fc,ef</sub></b> : <u>21.59</u> cm <sup>2</sup>
<b>k</b> : Coeficiente que depende de la clase de la sección.	<b>k</b> : <u>0.30</u>
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> : <u>210000</u> MPa
<b>f<sub>yf</sub></b> : Límite elástico del acero del ala comprimida.	<b>f<sub>yf</sub></b> : <u>275.00</u> MPa

Siendo:

**Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.019} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N35, para la combinación de acciones  $0.8 \cdot PP + 1.5 \cdot V(270^\circ)H1$ .

$N_{t,Ed}$ : Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{t,Ed} : \underline{36.43} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a tracción  $N_{t,Rd}$  viene dada por:

$$N_{t,Rd} : \underline{1904.05} \text{ kN}$$

Donde:

$A$ : Área bruta de la sección transversal de la barra.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{Mo}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{Mo} : \underline{1.05}$$

### **Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.018} \quad \checkmark$$

$$\eta : \underline{0.074} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q$ .

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : \underline{33.84} \text{ kN}$$

La resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd}$  viene dada por:

$$N_{c,Rd} : \underline{1904.05} \text{ kN}$$

Donde:

$$\text{Clase} : \underline{3}$$

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>m0</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{m0} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **N<sub>b,Rd</sub>** en una barra comprimida viene dada por:

$$N_{b,Rd} : \underline{455.35} \text{ kN}$$

Donde:

**A:** Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

$$A : \underline{72.70} \text{ cm}^2$$

**f<sub>yd</sub>:** Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

**f<sub>y</sub>:** Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

**γ<sub>m1</sub>:** Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{m1} : \underline{1.05}$$

**χ:** Coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi_y : \underline{0.24}$$

Siendo:

$$\phi_y : \underline{2.53}$$

**α:** Coeficiente de imperfección elástica.

$$\alpha_y : \underline{0.21}$$

**λ̄:** Esbeltez reducida.

$$\bar{\lambda}_y : \underline{1.92}$$

**N<sub>cr</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores:

$$N_{cr} : \underline{539.54} \text{ kN}$$

**N<sub>cr,y</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} : \underline{539.54} \text{ kN}$$

**N<sub>cr,z</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} : \underline{\infty}$$

**N<sub>cr,T</sub>:** Axil crítico elástico de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} : \underline{\infty}$$

### **Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.602} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 10.500 m del nudo N32, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·Q.

$M_{Ed}^+$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^+ : \underline{160.71} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 10.500 m del nudo N32, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·V(180°)H1.

$M_{Ed}^-$ : Momento flector solicitante de cálculo pésimo.

$$M_{Ed}^- : \underline{68.18} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}$  viene dado por:

$$M_{c,Rd} : \underline{266.88} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Donde:

**Clase:** Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

$$\text{Clase} : \underline{1}$$

$W_{pl,y}$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} : \underline{1019.00} \text{ cm}^3$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{mo}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{mo} : \underline{1.05}$$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

**Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta : \underline{0.059} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N32, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : \underline{31.11} \text{ kN}$$

El esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$  viene dado por:

$$V_{c,Rd} : \underline{530.87} \text{ kN}$$

Donde:

$A_v$ : Área transversal a cortante.

$$A_v : \underline{35.11} \text{ cm}^2$$

Siendo:

$h$ : Canto de la sección.

$$h : \underline{360.00} \text{ mm}$$

$t_w$ : Espesor del alma.

$$t_w : \underline{8.00} \text{ mm}$$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} : \underline{261.90} \text{ MPa}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

$\gamma_{M0}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} : \underline{1.05}$$

**Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$37.32 < 64.71$$



Donde:

$\lambda_w$ : Esbeltez del alma.

$$\lambda_w : \underline{37.32}$$

$\lambda_{m\acute{a}x}$ : Esbeltez máxima.

$$\lambda_{m\acute{a}x} : \underline{64.71}$$

$\epsilon$ : Factor de reducción.

$$\epsilon : \underline{0.92}$$

Siendo:

$f_{ref}$ : Límite elástico de referencia.

$$f_{ref} : \underline{235.00} \text{ MPa}$$

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y : \underline{275.00} \text{ MPa}$$

### **Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

**Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$ .

$$28.82 \text{ kN} \leq 265.44 \text{ kN}$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.656 m del nudo N32, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$V_{Ed}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{Ed} : 28.82 \text{ kN}$$

$V_{c,Rd}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} : 530.87 \text{ kN}$$

**Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

**Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta : 0.615$$



$$\eta : 0.681$$



$$\eta : 0.390$$



Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 10.500 m del nudo N32, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot Q$ .

Donde:

$N_{c,Ed}$ : Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.

$$N_{c,Ed} : 24.32 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed}^+ : 160.71 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$M_{y,Ed}$ ,  $M_{z,Ed}$ : Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.

**Clase**: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.

$N_{pl,Rd}$ : Resistencia a compresión de la sección bruta.

$M_{pl,Rd,y}$ ,  $M_{pl,Rd,z}$ : Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.

**Resistencia a pandeo**: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

$A$ : Área de la sección bruta.

$W_{pl,y}$ ,  $W_{pl,z}$ : Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$M_{z,Ed}^+ : 0.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{Clase} : 1$$

$$N_{pl,Rd} : 1904.05 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd,y} : 266.88 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$M_{pl,Rd,z} : 50.02 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$A : 72.70 \text{ cm}^2$$

$$W_{pl,y} : 1019.00 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} : 191.00 \text{ cm}^3$$

$$f_{yd} : 261.90 \text{ MPa}$$

Siendo:

$f_y$ : Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$\gamma_{M1}$ : Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$f_y : 275.00 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M1} : 1.05$$

$k_y$ ,  $k_z$ : Coeficientes de interacción.

$$k_y : 1.04$$

$$k_z : 1.00$$

$C_{m,y}$ ,  $C_{m,z}$ : Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} : 1.00$$

$$C_{m,z} : 1.00$$

$\chi_y$ ,  $\chi_z$ : Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\chi_y : 0.24$$

$$\chi_z : 1.00$$

$\bar{\lambda}_y$ ,  $\bar{\lambda}_z$ : Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\bar{\lambda}_y : 1.92$$

$$\bar{\lambda}_z : 0.00$$

$\alpha_y$ ,  $\alpha_z$ : Factores dependientes de la clase de la sección.

$$\alpha_y : 0.60$$

$$\alpha_z : 0.60$$

### Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 0.656 m del nudo N32, para la combinación de acciones  $1.35 \cdot PP + 1.5 \cdot V(0^\circ)H2 + 0.75 \cdot N(EI)$ .

$$28.82 \text{ kN} \leq 265.44 \text{ kN}$$



Donde:

$V_{Ed,z}$ : Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$V_{c,Rd,z}$ : Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{Ed,z} : \frac{28.82}{\text{kN}}$$

$$V_{c,Rd,z} : \frac{530.87}{\text{kN}}$$

### **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

### **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

- ELU resumido para los demás elementos de la nave (luz = 25 metros, crujía = 4 metros):

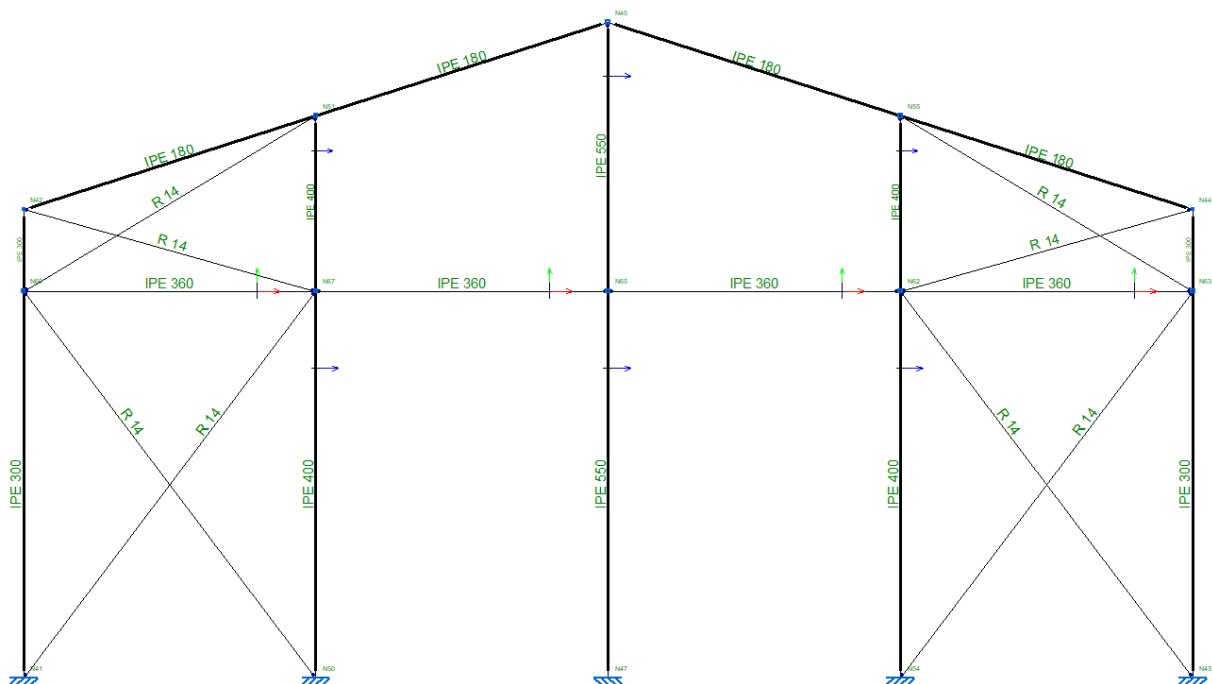


Figura 70. Pórtico de fachada tipo (caso particular mostrado IPE).



## - Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado
	$\bar{\lambda}$	$\lambda_w$	$N_t$	$N_c$	$M_Y$	$M_Z$	$V_Z$	$V_Y$	$M_Y V_Z$	$M_Z V_Y$	$N M_Y M_Z$	$N M_Y M_Z V_Y V_Z$	$M_t$	
N41/N69	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 8.26 m $\eta = 0.3$	x: 0 m $\eta = 23.9$	x: 0 m $\eta = 36.9$	x: 0 m $\eta = 59.2$	x: 0 m $\eta = 7.7$	x: 0 m $\eta = 2.6$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 92.2$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup> N.P. <sup>(2)</sup> <b>CUMPLE</b> $\eta = 92.2$
N69/N42	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 1.74 m $\eta = 0.5$	x: 0 m $\eta = 4.4$	x: 0 m $\eta = 14.5$	x: 0 m $\eta = 41.7$	x: 1.74 m $\eta = 4.6$	x: 0 m $\eta = 2.0$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 48.9$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup> N.P. <sup>(2)</sup> <b>CUMPLE</b> $\eta = 48.9$
N42/N51	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.328 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 6.562 m $\eta = 1.1$	x: 0 m $\eta = 10.7$	x: 6.562 m $\eta = 27.3$	x: 6.562 m $\eta = 34.2$	x: 6.562 m $\eta = 6.0$	x: 0 m $\eta = 1.2$	x: 0.328 m $\eta < 0.1$	x: 0.328 m $\eta < 0.1$	x: 6.562 m $\eta = 59.5$	x: 0.328 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup> N.P. <sup>(2)</sup> <b>CUMPLE</b> $\eta = 59.5$
N50/N67	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 8.26 m $\eta = 0.5$	x: 0 m $\eta = 10.5$	x: 0 m $\eta = 76.3$	x: 0 m $\eta = 5.0$	x: 0 m $\eta = 10.5$	$\eta = 0.1$	$\eta < 0.1$	$\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 82.5$	$\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup> N.P. <sup>(2)</sup> <b>CUMPLE</b> $\eta = 82.5$
N67/N51	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	x: 3.74 m $\eta = 0.9$	x: 0 m $\eta = 1.3$	x: 0 m $\eta = 17.8$	x: 0 m $\eta = 3.7$	x: 3.74 m $\eta = 4.1$	$\eta = 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta < 0.1$	x: 0 m $\eta = 22.4$	x: 0 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup> N.P. <sup>(2)</sup> <b>CUMPLE</b> $\eta = 22.4$
N69/N67	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 0.391 m $\lambda_w \leq \lambda_{w,max}$ Cumple	$\eta = 1.1$	$\eta = 3.5$	x: 3.125 m $\eta = 1.4$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. <sup>(3)</sup>	x: 0 m $\eta = 0.4$	$V_{Ed} = 0.00$ N.P. <sup>(4)</sup>	x: 0.391 m $\eta < 0.1$	N.P. <sup>(5)</sup>	x: 3.125 m $\eta = 4.2$	x: 0.391 m $\eta < 0.1$	$M_{Ed} = 0.00$ N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup> N.P. <sup>(2)</sup> <b>CUMPLE</b> $\eta = 4.2$

Barras	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)													Estado	
	$\bar{\lambda}$	N <sub>t</sub>	N <sub>c</sub>	M <sub>Y</sub>	M <sub>Z</sub>	V <sub>Z</sub>	V <sub>Y</sub>	M <sub>Y</sub> V <sub>Z</sub>	M <sub>Z</sub> V <sub>Y</sub>	NM <sub>Y</sub> M <sub>Z</sub>	NM <sub>Y</sub> M <sub>Z</sub> V <sub>Y</sub> V <sub>Z</sub>	M <sub>t</sub>	M <sub>t</sub> V <sub>Z</sub>		M <sub>t</sub> V <sub>Y</sub>
N42/N57	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 65.4$	N <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(6)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	V <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(4)</sup>	V <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(7)</sup>	N.P. <sup>(8)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	<b>CUMPLE</b> $\eta = 65.4$
N41/N67	$\bar{\lambda} \leq 4.0$ Cumple	$\eta = 72.1$	N <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(6)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	V <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(4)</sup>	V <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(4)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(5)</sup>	N.P. <sup>(7)</sup>	N.P. <sup>(8)</sup>	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	<b>CUMPLE</b> $\eta = 72.1$
N67/N42	$\bar{\lambda} < 2.0$ Cumple	x: 6.488 m $\eta = 28.8$	x: 0 m $\eta = 9.3$	x: 3.244 m $\eta = 67.7$	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(3)</sup>	x: 0 m $\eta = 0.2$	V <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(4)</sup>	x: 0.405 m $\eta < 0.1$	N.P. <sup>(5)</sup>	x: 3.244 m $\eta = 96.4$	x: 0.405 m $\eta < 0.1$	M <sub>Ed</sub> = 0.00 N.P. <sup>(1)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	N.P. <sup>(2)</sup>	<b>CUMPLE</b> $\eta = 96.4$

### Notación:

$\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez  
 $\lambda_w$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida  
 $N_t$ : Resistencia a tracción  
 $N_c$ : Resistencia a compresión  
 $M_Y$ : Resistencia a flexión eje Y  
 $M_Z$ : Resistencia a flexión eje Z  
 $V_Z$ : Resistencia a corte Z  
 $V_Y$ : Resistencia a corte Y  
 $M_Y V_Z$ : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados  
 $M_Z V_Y$ : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados  
 $N M_Y M_Z$ : Resistencia a flexión y axil combinados  
 $N M_Y M_Z V_Y V_Z$ : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados  
 $M_t$ : Resistencia a torsión  
 $M_t V_Z$ : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados  
 $M_t V_Y$ : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados  
 $x$ : Distancia al origen de la barra  
 $\eta$ : Coeficiente de aprovechamiento (%)  
 $N.P.$ : No procede

### Comprobaciones que no proceden (N.P.):

- (1) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
- (2) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- (3) La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.
- (4) La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.
- (5) No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- (6) La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.
- (7) No hay interacción entre axil y momento flector ni entre momentos flectores en ambas direcciones para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.
- (8) No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

### 3. ANEXO DE SOLUCIONES

En el anexo de soluciones se van a mostrar todas las soluciones posibles del estudio presentado para todos los casos (los casos mostrados dentro del apartado de la memoria, no se incluyen en este anexo de soluciones):

#### Crujía 5 metros

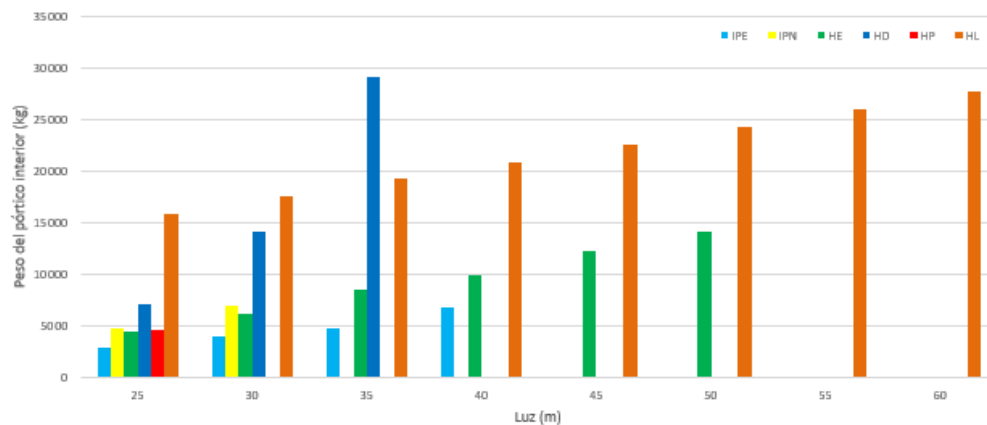


Figura 71. Peso de los perfiles simples según variación en la luz de la estructura para crujías de 5 metros.

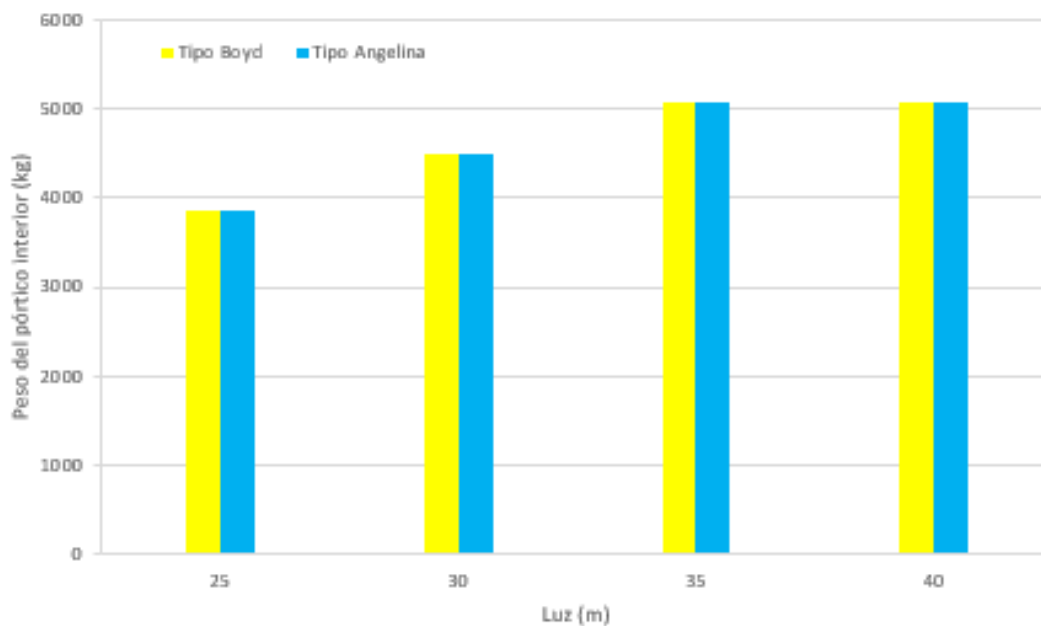


Figura 72. Peso de los perfiles Boyd y Angelina según variación en la luz de la estructura para crujías de 5 metros.

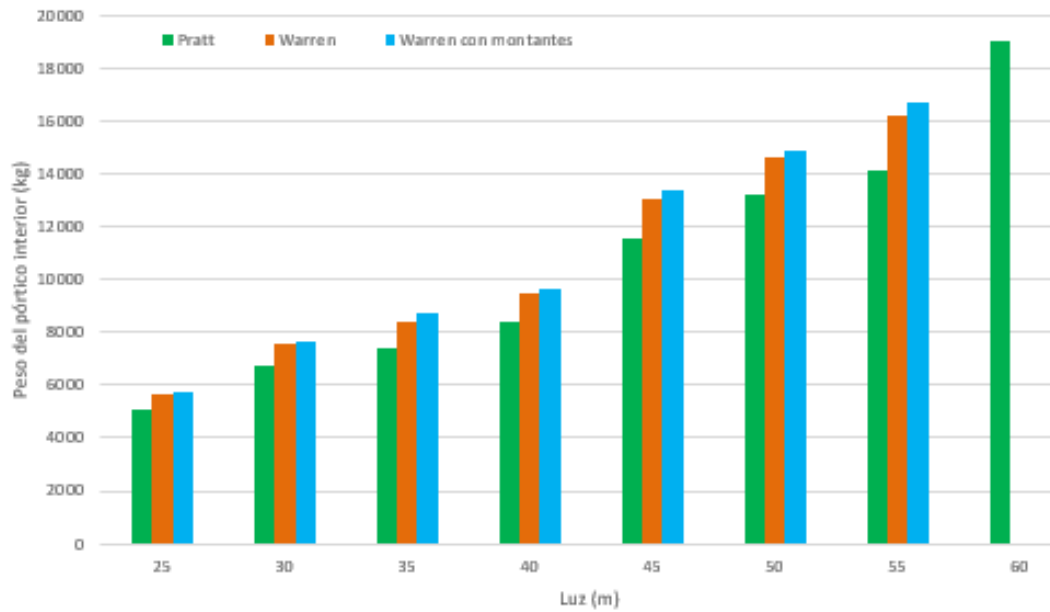


Figura 73. Peso de las celosías según variación en la luz de la estructura para crujías de 5 metros.

## Crujía 6 metros

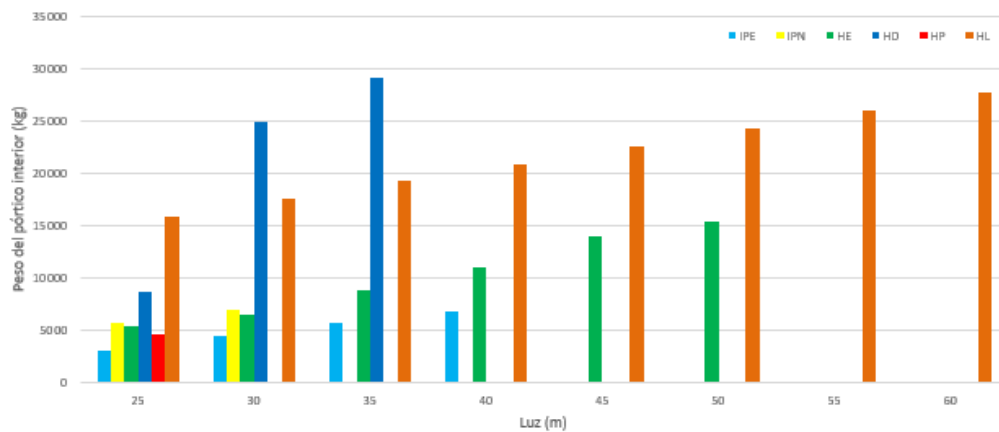


Figura 74. Peso de los perfiles simples según variación en la luz de la estructura para crujías de 6 metros.

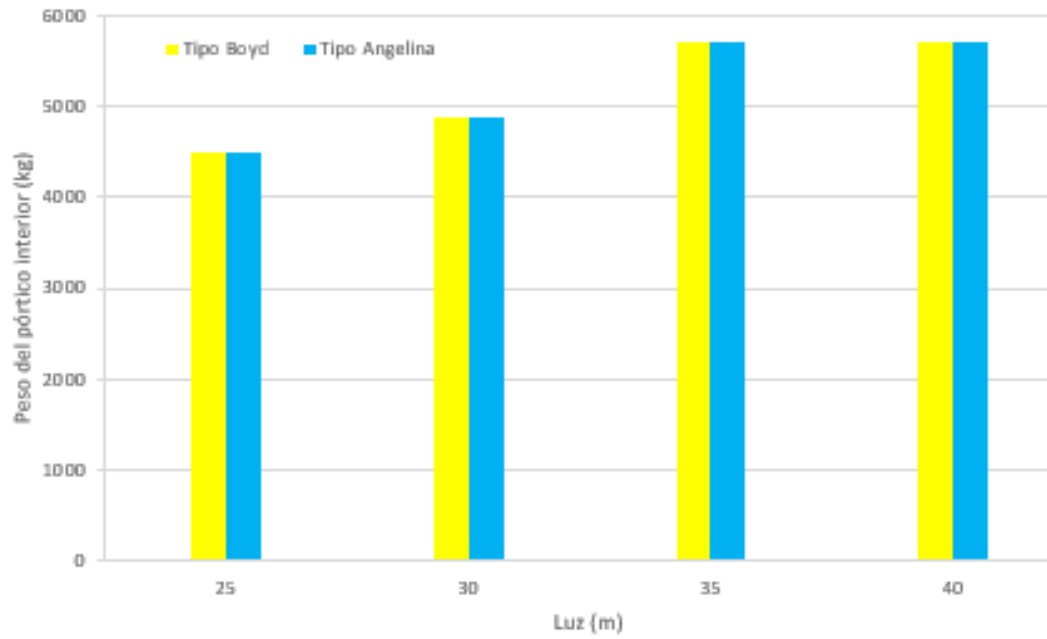


Figura 75. Peso de los perfiles Boyd y Angelina según variación en la luz de la estructura para crujías de 6 metros.

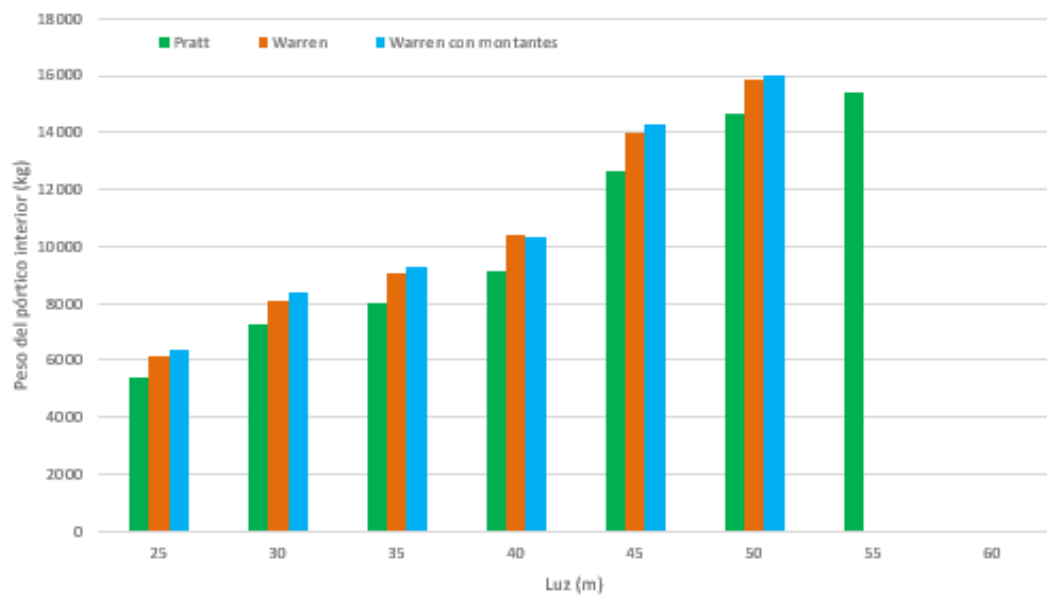


Figura 76. Peso de las celosías según variación en la luz de la estructura para crujías de 6 metros.

## Crujía 8 metros

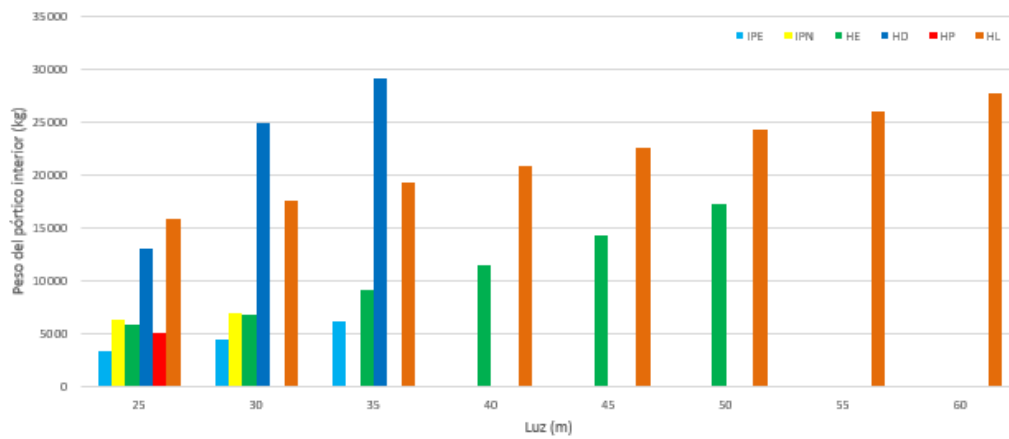


Figura 77. Peso de los perfiles simples según variación en la luz de la estructura para crujeas de 8 metros.

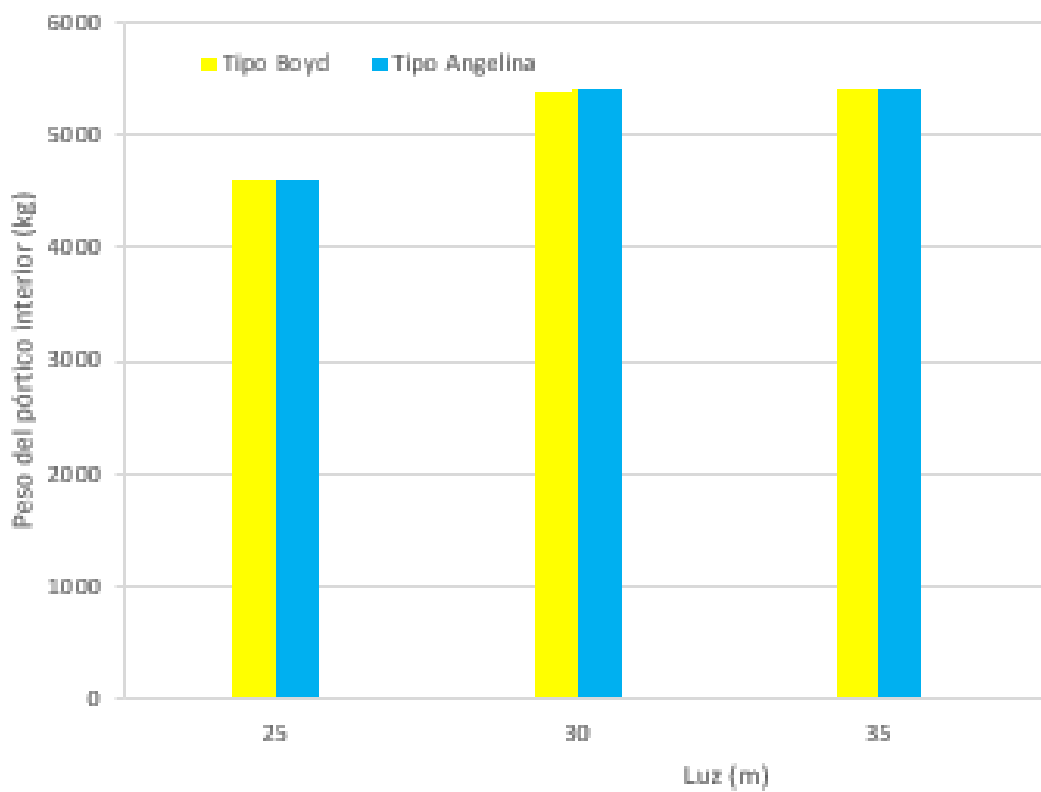


Figura 78. Peso de los perfiles Boyd y Angelina según variación en la luz de la estructura para crujeas de 8 metros.

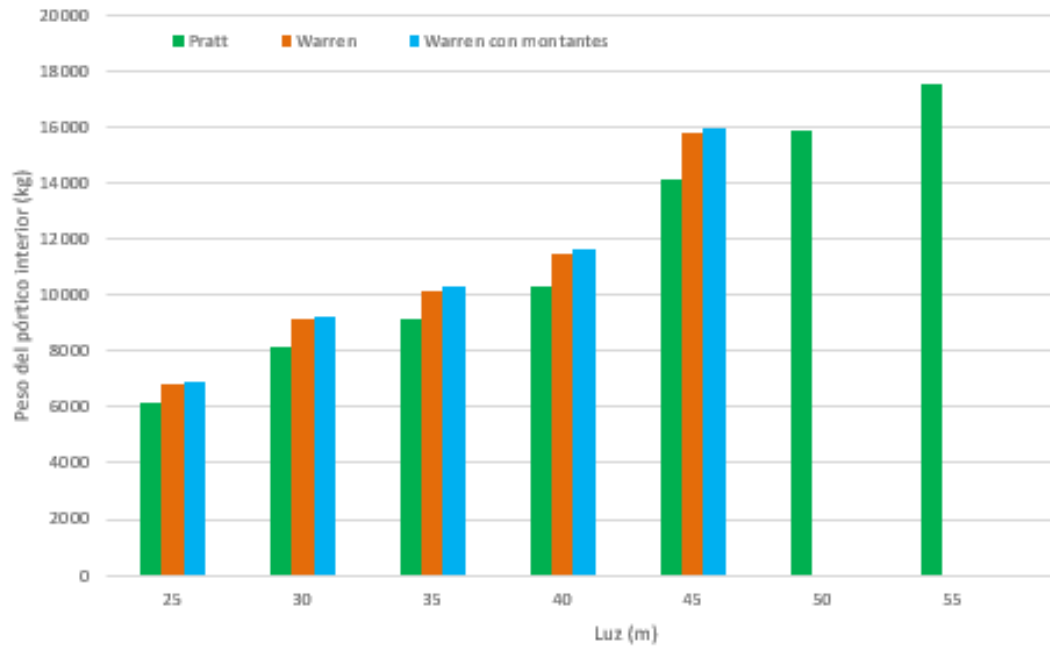


Figura 79. Peso de las celosías según variación en la luz de la estructura para crujías de 8 metros.

### Crujía 9 metros

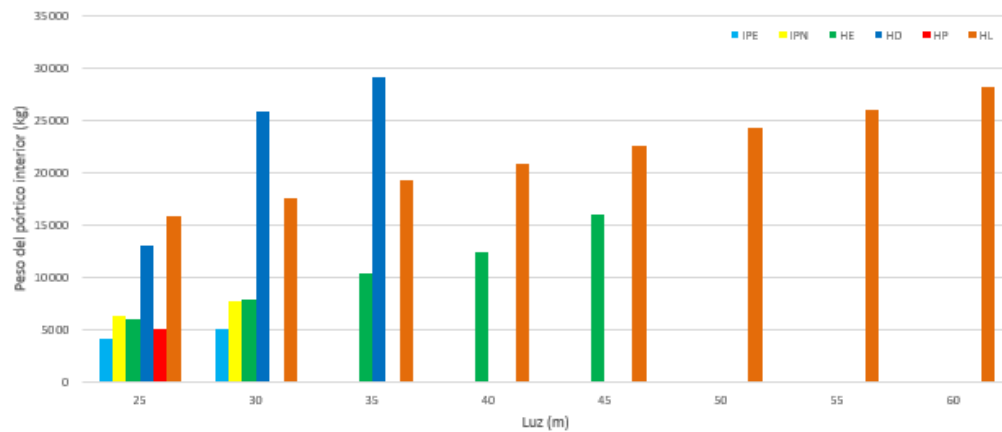


Figura 80. Peso de los perfiles simples según variación en la luz de la estructura para crujías de 9 metros.

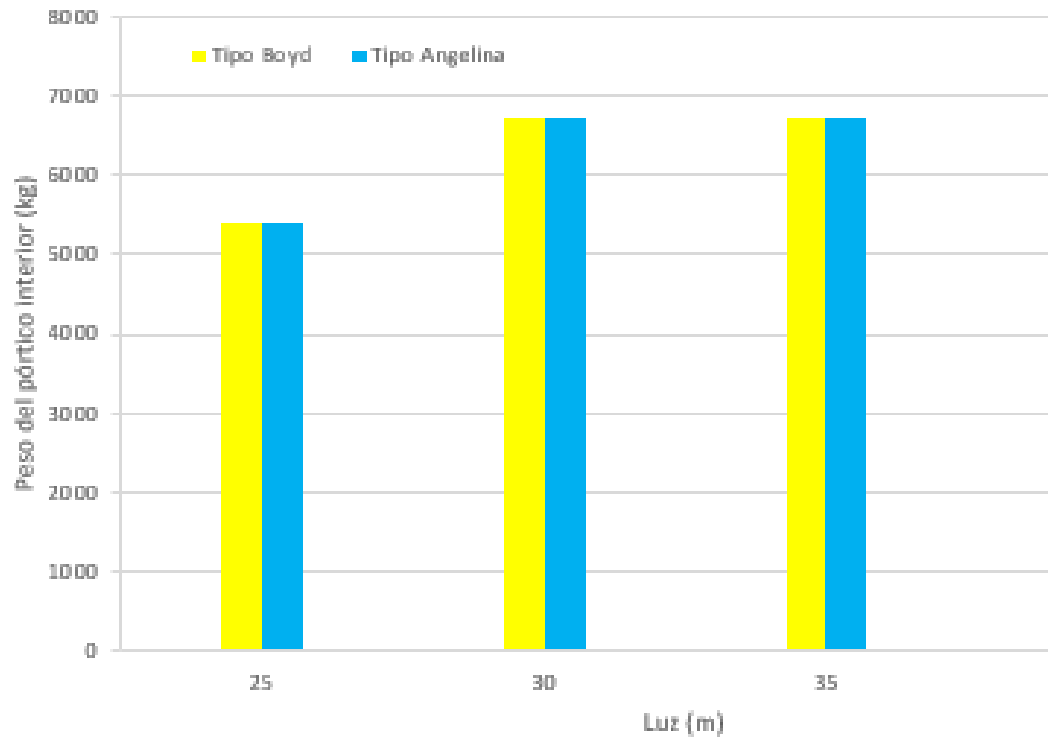


Figura 81. Peso de los perfiles Boyd y Angelina según variación en la luz de la estructura para crujías de 9 metros.

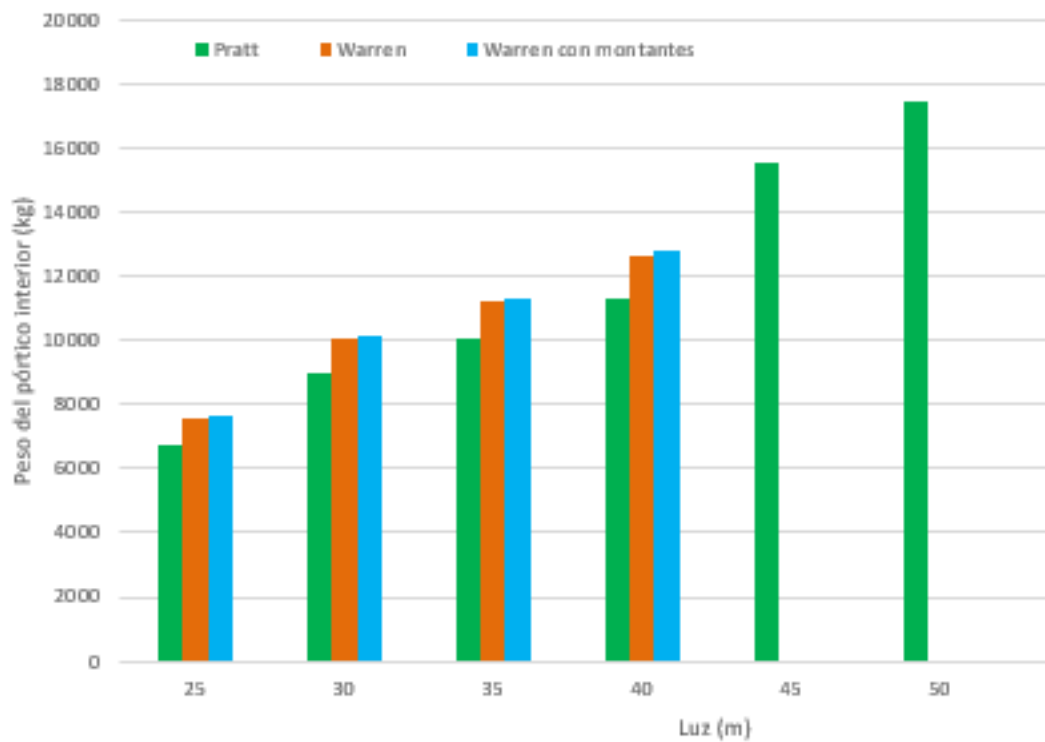


Figura 82. Peso de las celosías según variación en la luz de la estructura para crujías de 9 metros.

## Crujía 10 metros

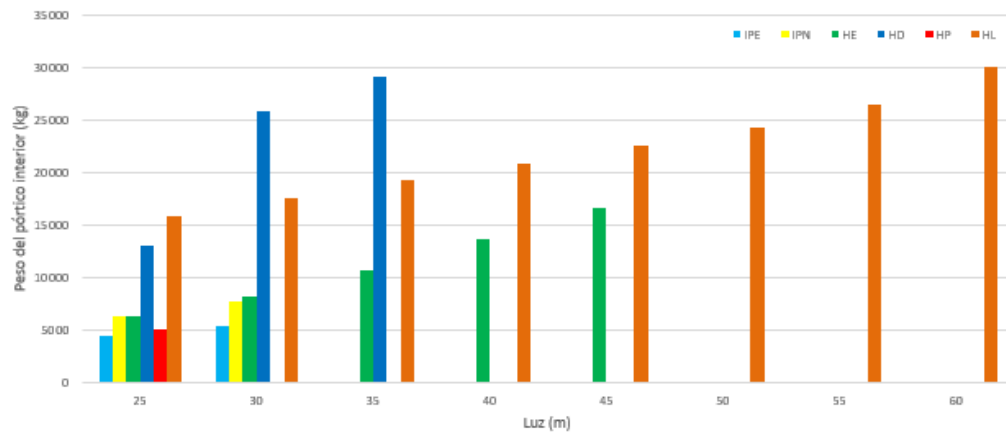


Figura 83. Peso de los perfiles simples según variación en la luz de la estructura para crujeas de 10 metros.

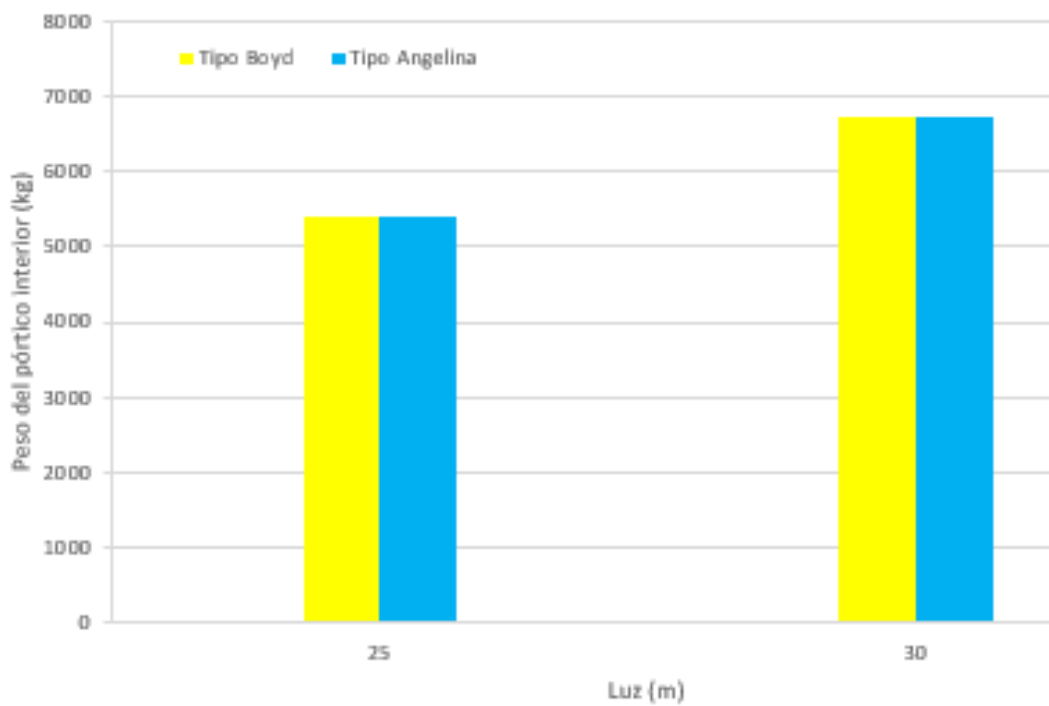


Figura 84. Peso de los perfiles Boyd y Angelina según variación en la luz de la estructura para crujeas de 10 metros.



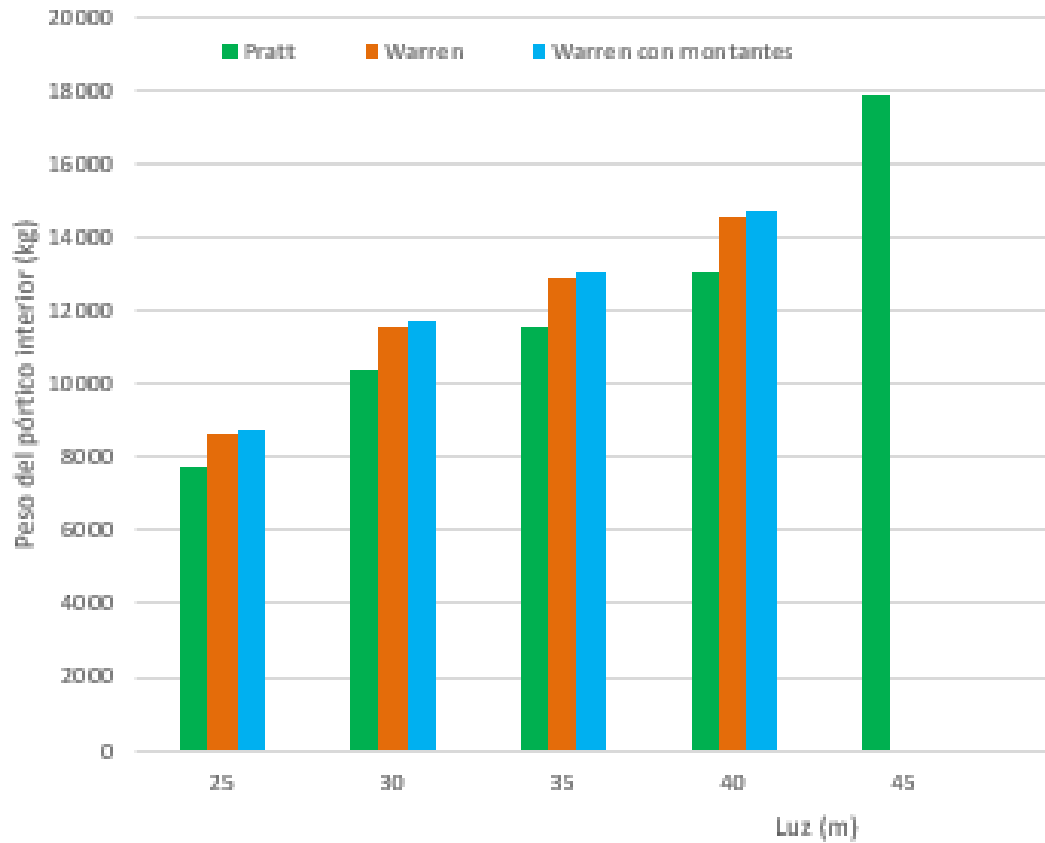


Figura 85. Peso de las celosías según variación en la luz de la estructura para crujeías de 10 metros.



# DOCUMENTO 4

## PRESUPUESTO



## 4. PRESUPUESTO

A continuación, se presenta una estimación del coste del trabajo llevado a cabo.

Tabla 19. Presupuesto total del proyecto.

Descripción	Precio unitario (€)	Cantidad	Precio Total (€)
<b>Nº de horas de trabajo</b>	25	1080	27000
- Formación y documentación.		85	
- Estudio de soluciones.		450	
- Análisis de resultados.		400	
- Redacción de la memoria escrita		145	
<b>Licencia del software CYPE completo</b>	5998	1	5998
<b>IVA (21%)</b>			6930
<b>TOTAL</b>			<b>39928</b>

El presupuesto del trabajo completo (incluyendo el IVA 21%) es de **39928 €**.



# DOCUMENTO 3

## PLANOS





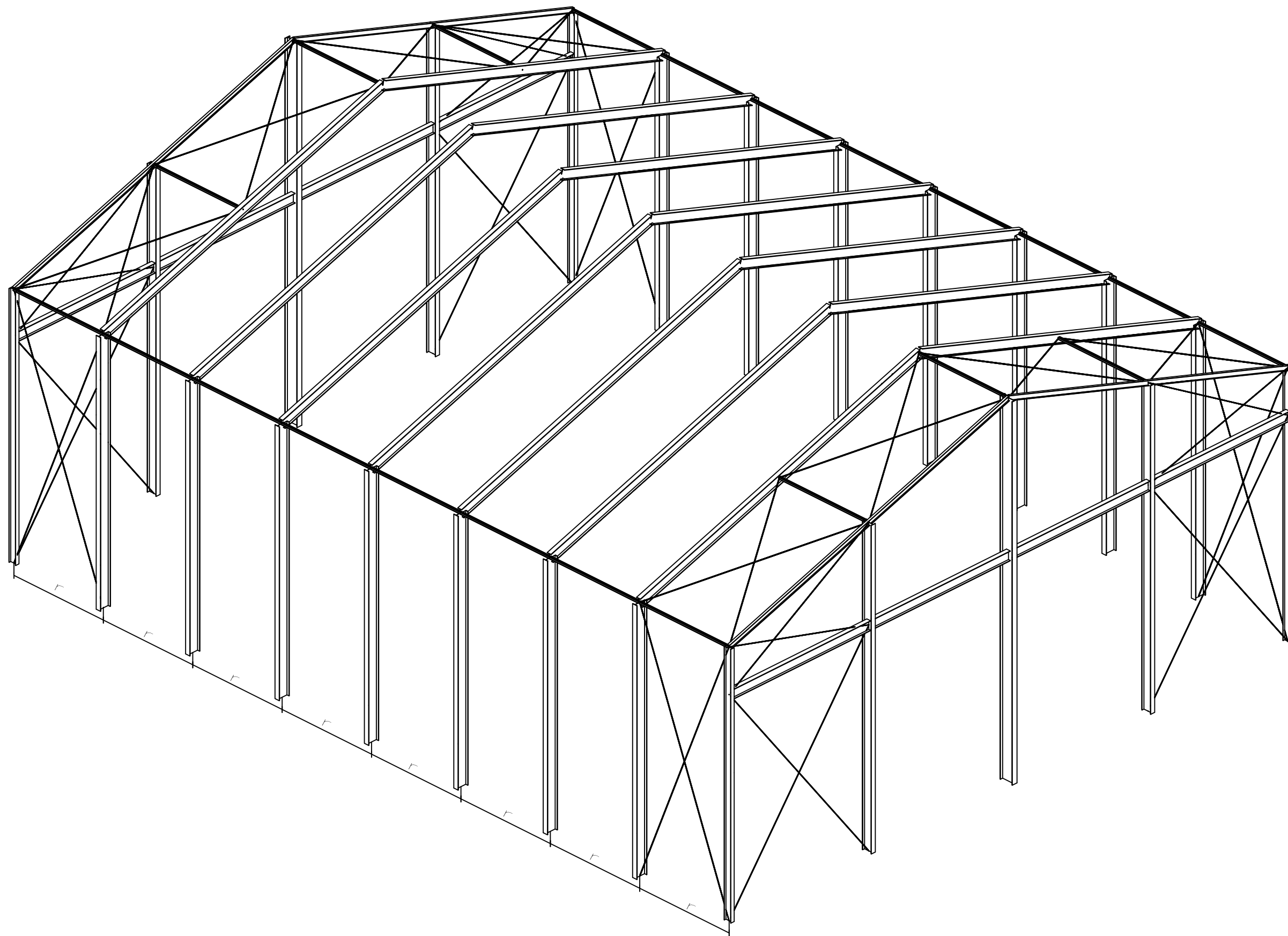
## 5. PLANOS


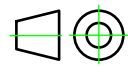
En el presente apartado se van a plasmar los planos de las soluciones analizadas durante todo el estudio. Al tratarse de una nave tipo similar y, debido a la enorme cantidad de casos de los que se dispone, únicamente se van a mostrar los planos de una nave específica para cada uno de los tipos de perfiles estudiados.

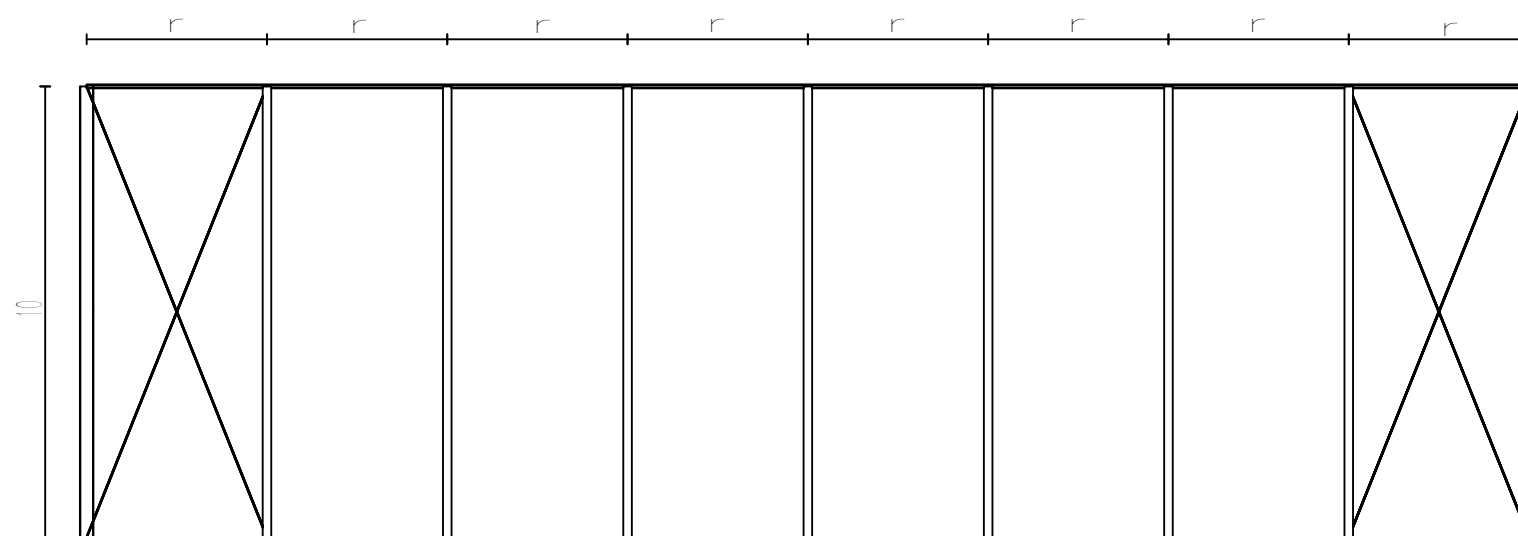
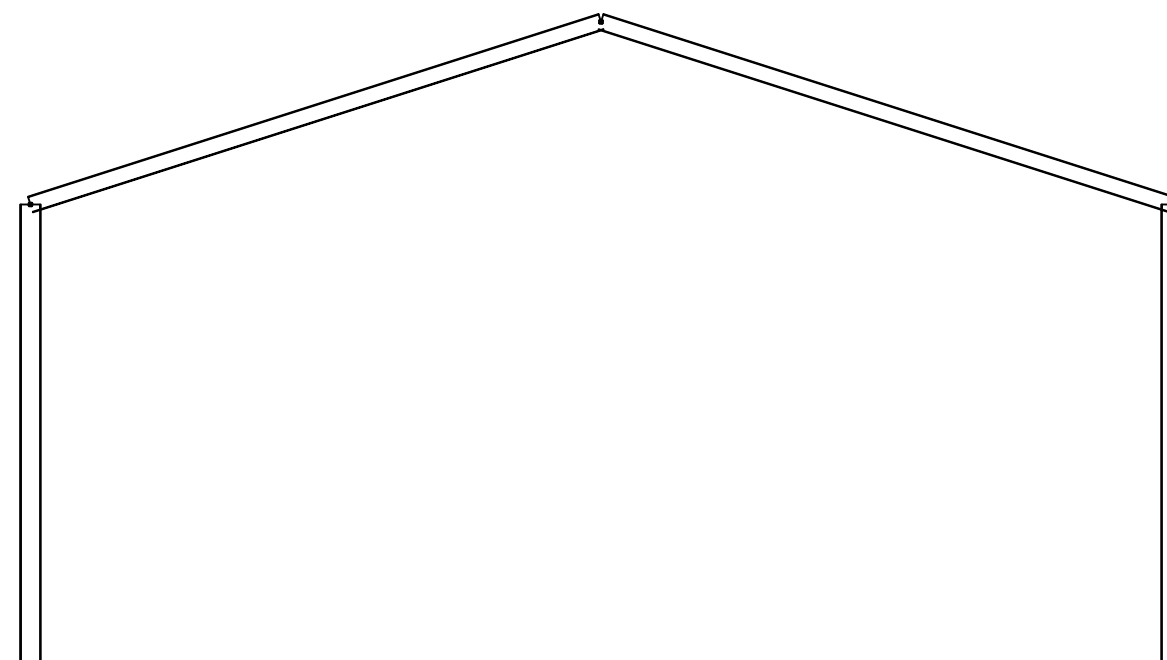
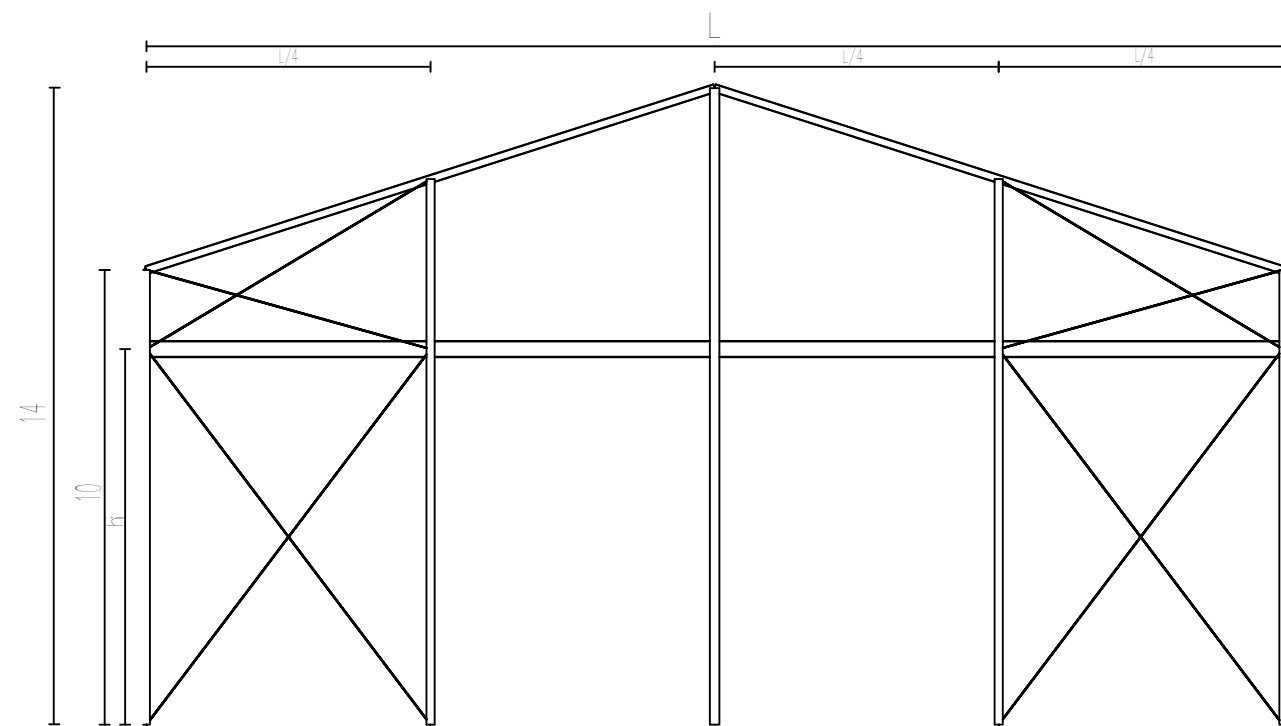
Con esto se obtiene la estructura tipo del estudio, siendo los demás casos similares (exceptuando la luz y la crujía de la nave). Para este apartado, se ha elegido una nave con una luz de 25 metros, una crujía de 4 metros.




A continuación, se muestran los planos de la nave con los distintos perfiles estudiados:

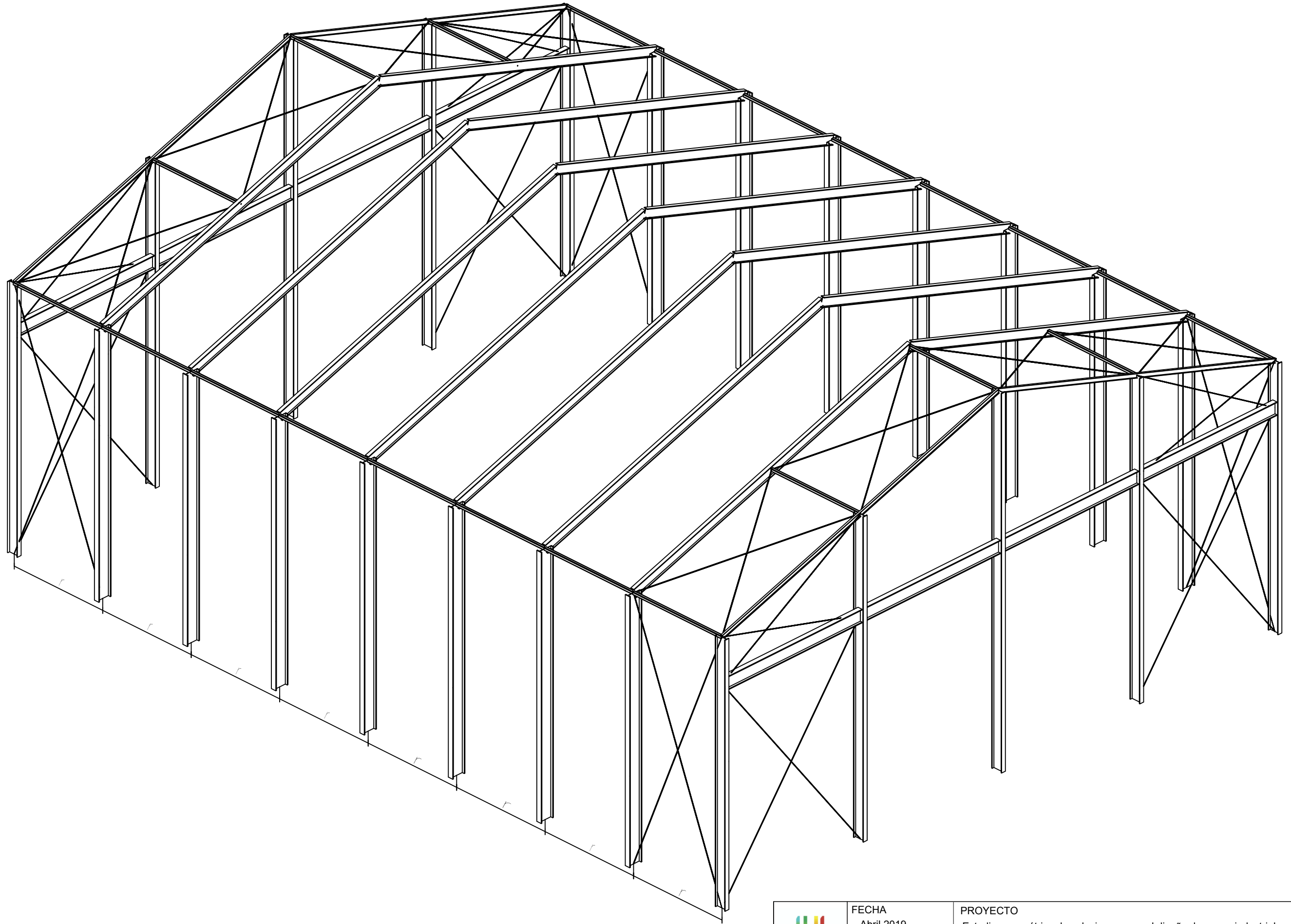
- IPE.
- IPN.
- HE.
- HD y HP (similar visualización).
- HL.
- Boyd.
- Angelina.
- Celosía Pratt.
- Celosía Warren.
- Celosía Warren con montantes.


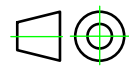


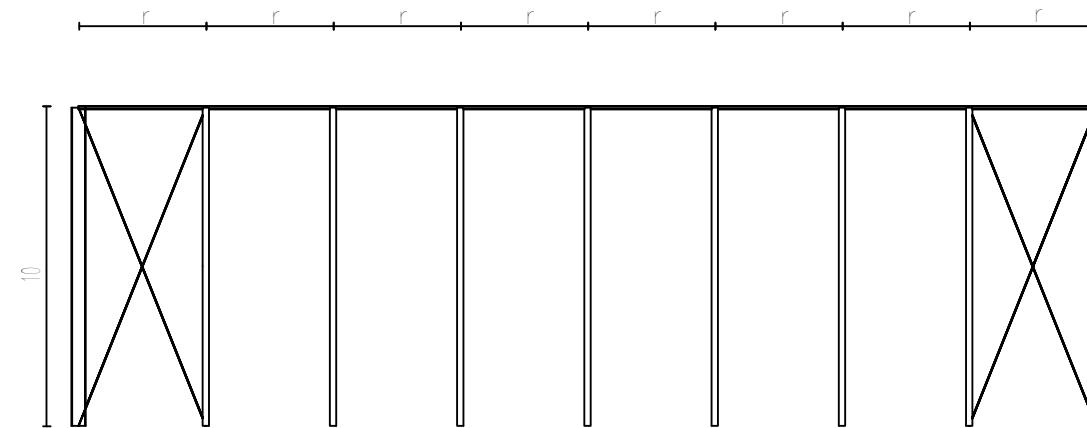
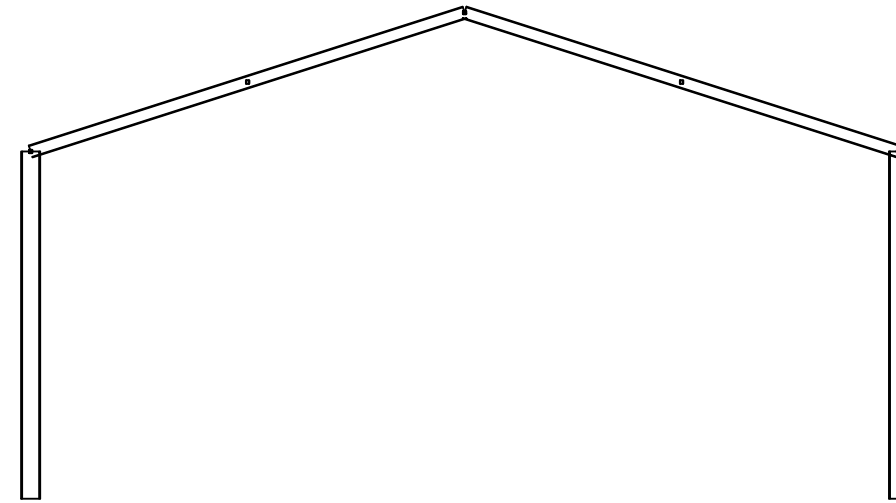
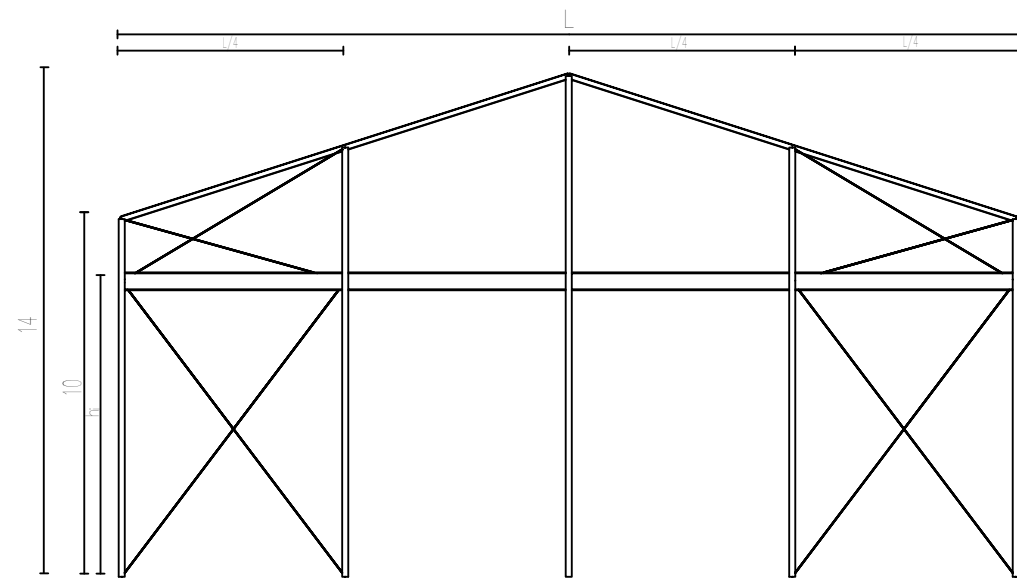
	FECHA Abril 2019	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	SISTEMA 	AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler	PLANO N° 1
TÍTULO Nave completa 3D IPE			


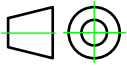


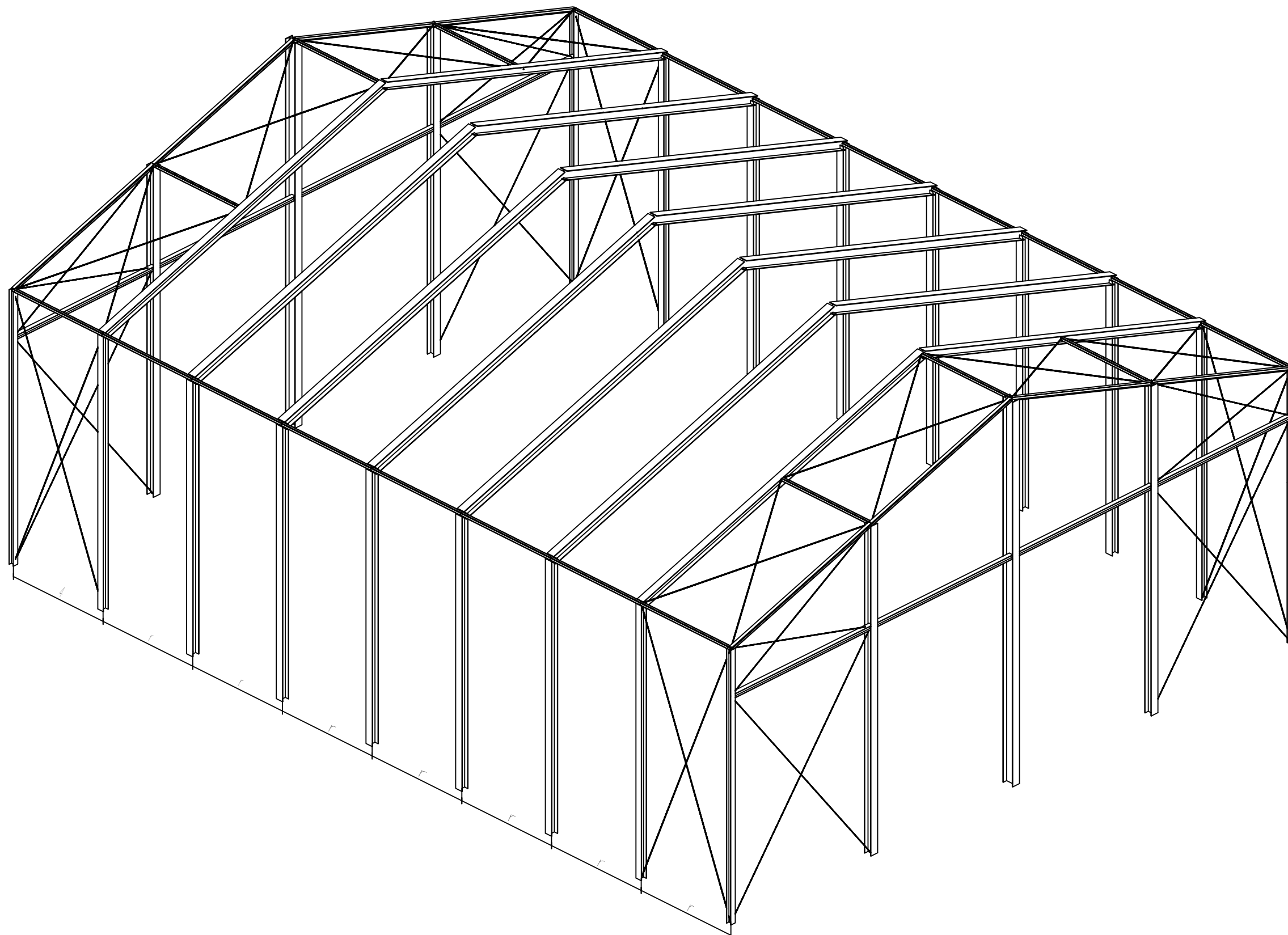
<div>  </div>	<div>ESCALA</div> <div>1:200</div>	<div>PROYECTO</div> <div>Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos</div>	
	<div>FECHA</div> <div>Abril 2019</div>	<div>TÍTULO</div> <div>Pórtico de fachada, interior y fachada lateral perfil IPE</div>	
	<div>SISTEMA</div> <div>   </div>		
AUTOR		PLANO	
Marcelo Palacios Siegenthaler		Nº 2	




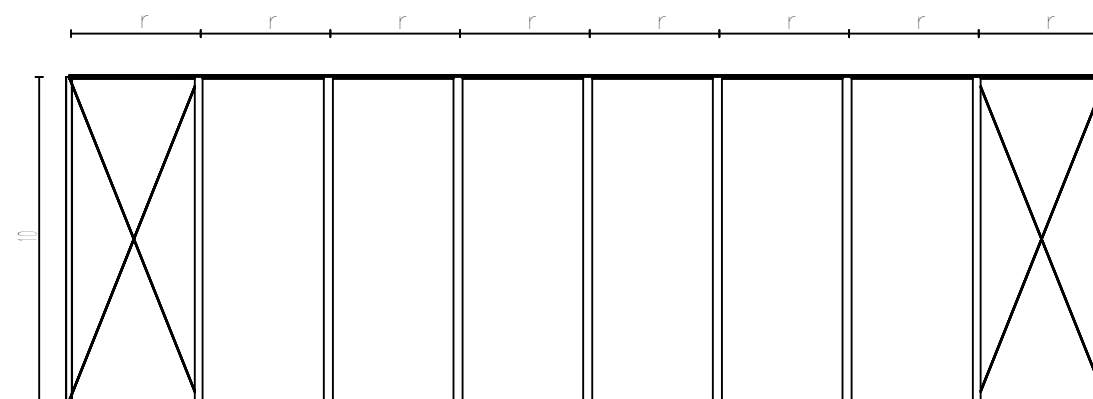
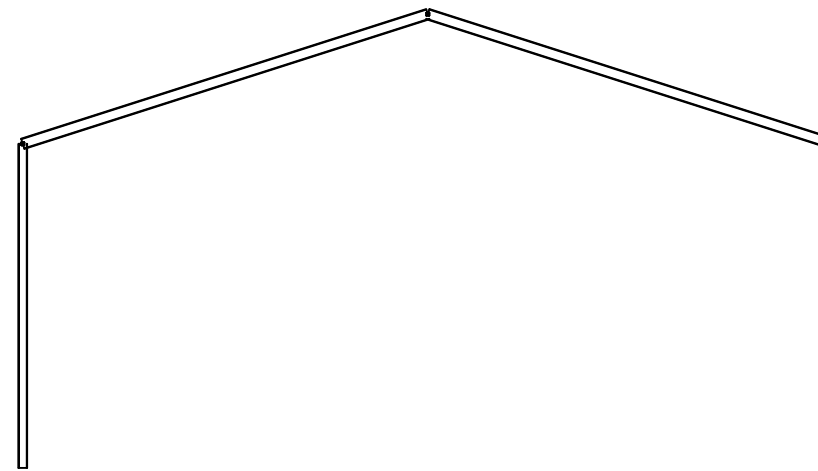
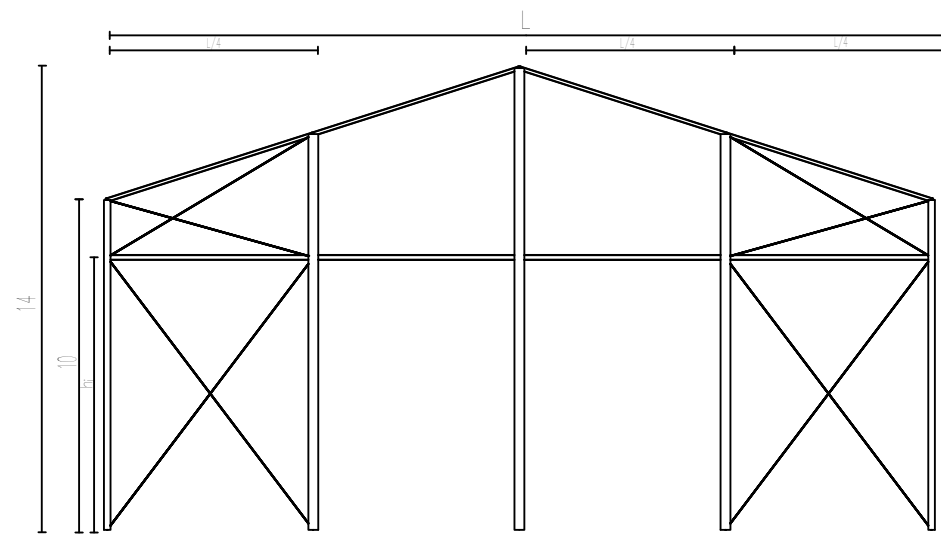
 SISTEMA 	FECHA Abril 2019	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler	TÍTULO Nave completa 3D IPN	PLANO Nº 3





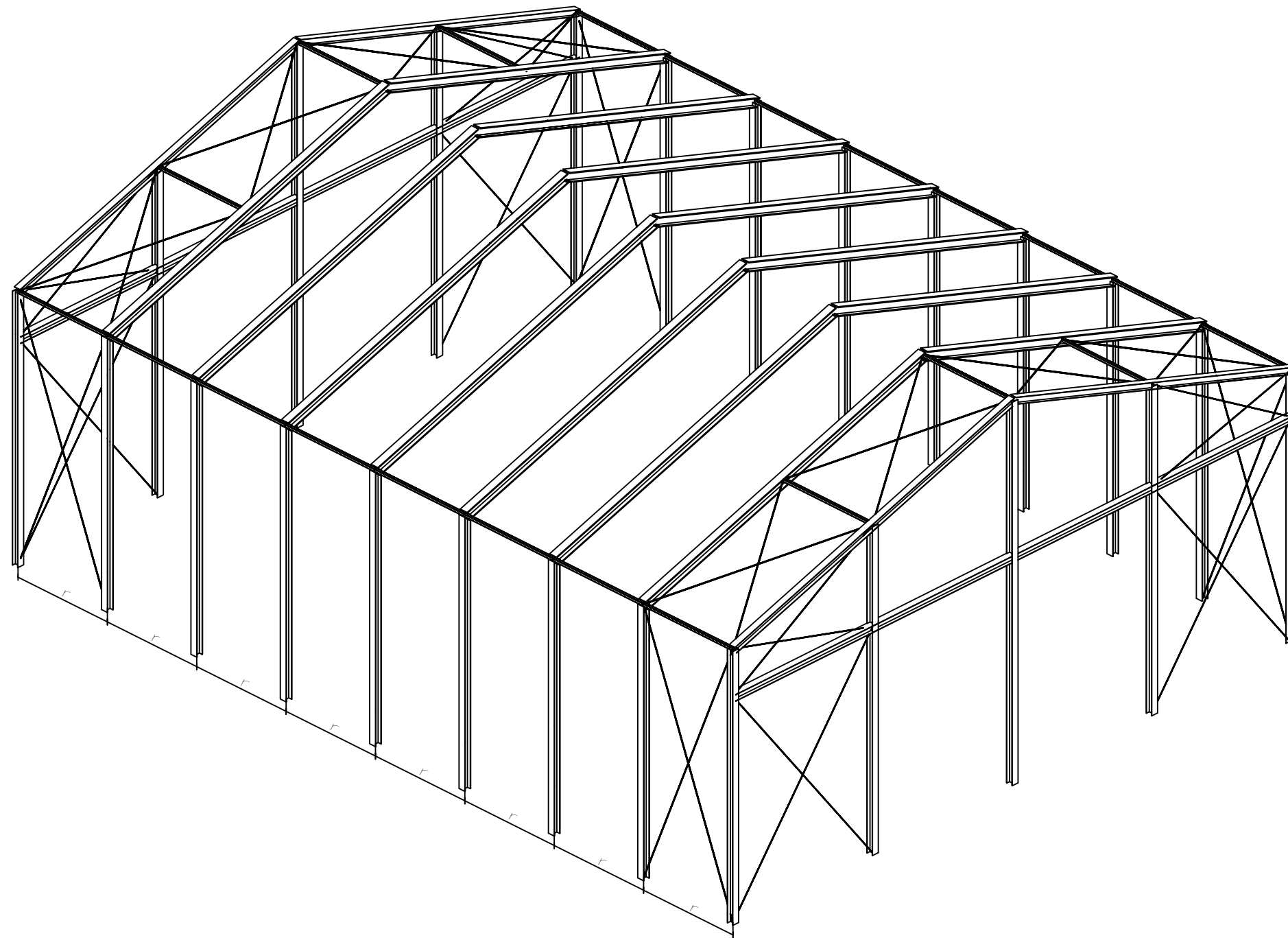
	<b>ESCALA</b> 1:200	<b>PROYECTO</b> Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	<b>FECHA</b> Abril 2019	<b>TÍTULO</b> Pórtico de fachada, interior y fachada lateral perfil IPN	
<b>SISTEMA</b> 	<b>AUTOR</b> Marcelo Palacios Siegenthaler	<b>PLANO</b> Nº 4	




	FECHA Abril 2019	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler	TÍTULO Nave completa 3D perfil HE	PLANO Nº 5

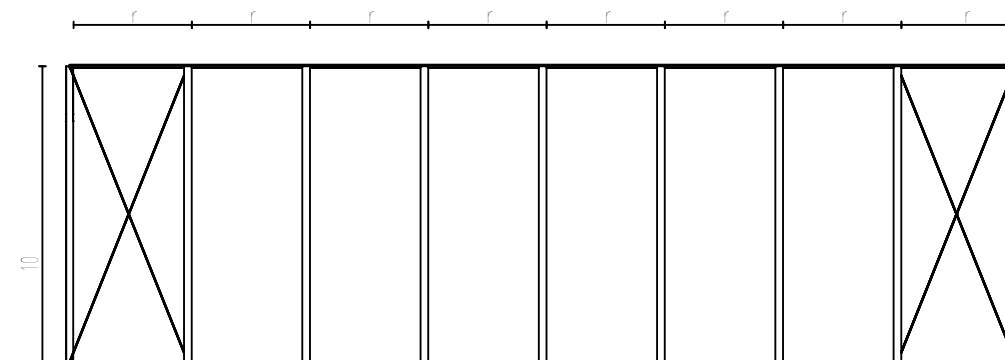
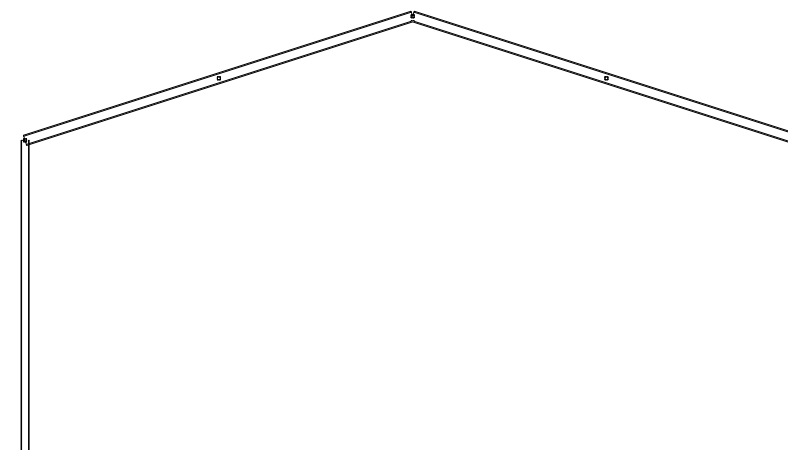
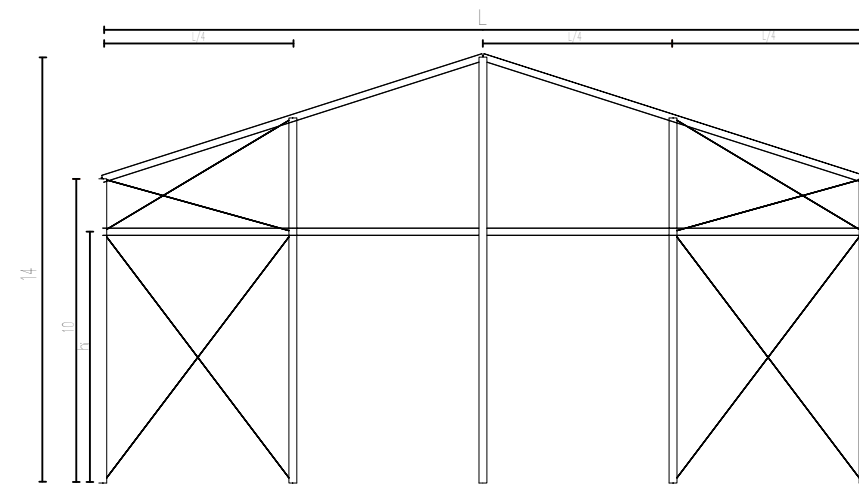





	ESCALA 1:200	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	FECHA Abril 2019		
SISTEMA 	AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler	TÍTULO Pórtico de fachada, interior y fachada lateral perfil HE	PLANO Nº 6

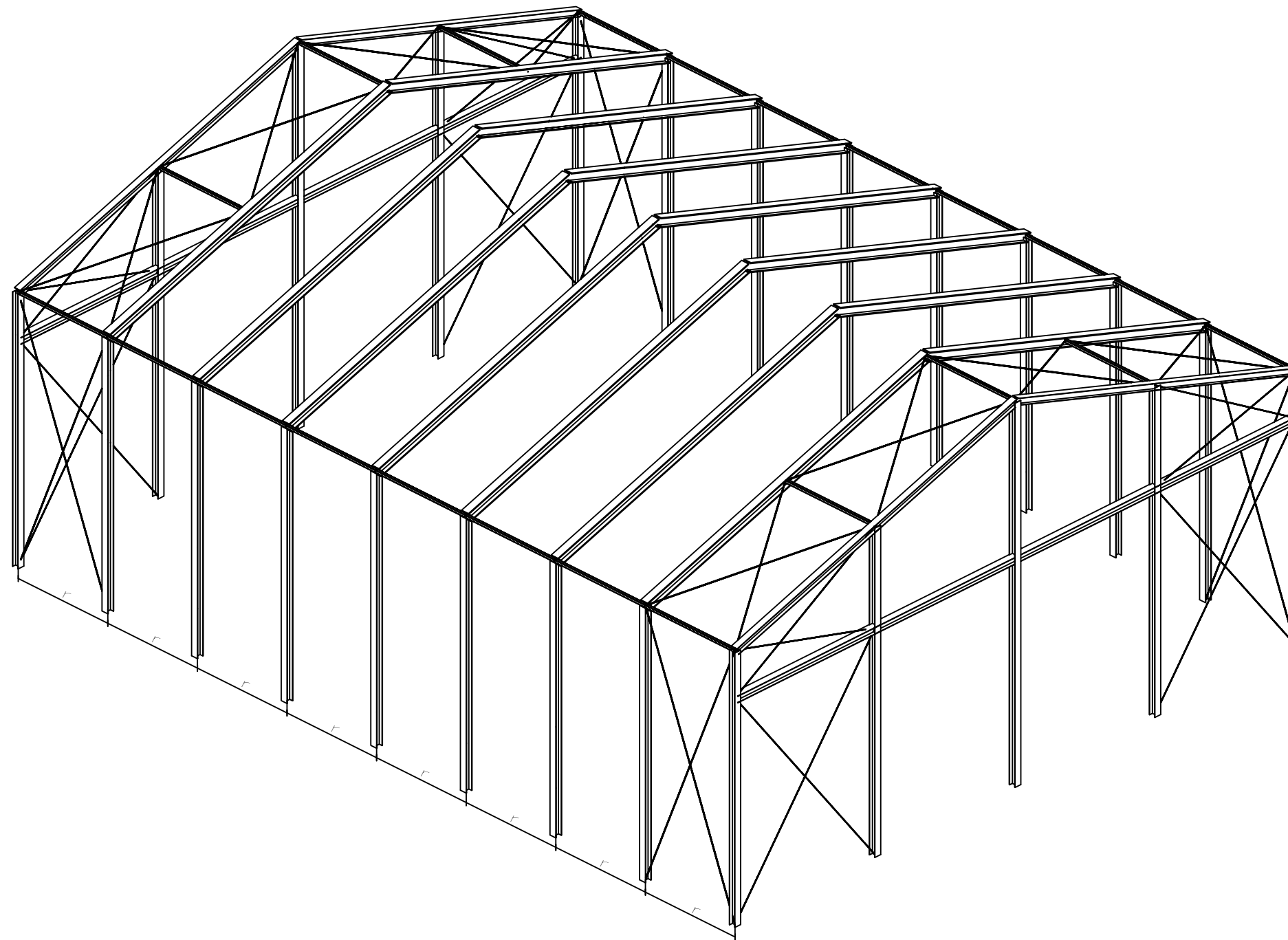




	FECHA Abril 2019	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler	TÍTULO Nave completa 3D Perfil HD	PLANO Nº 7

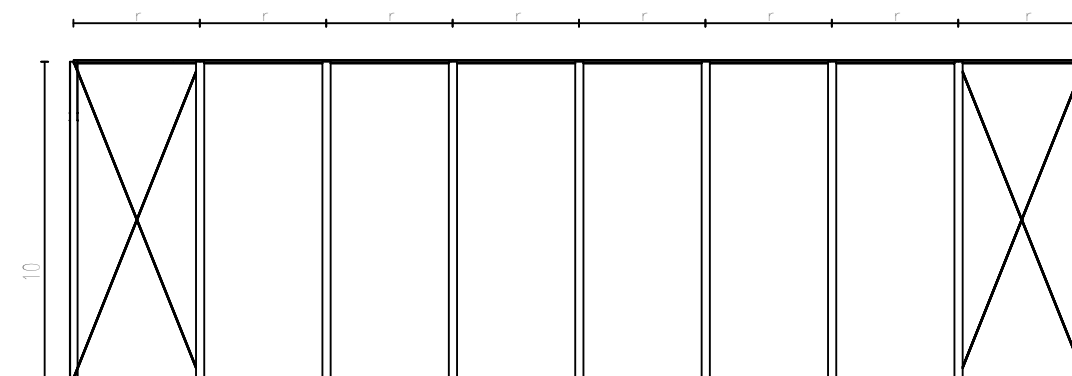
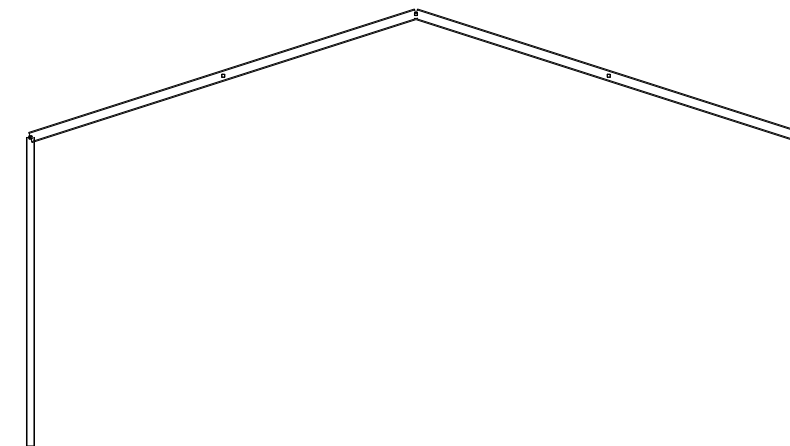
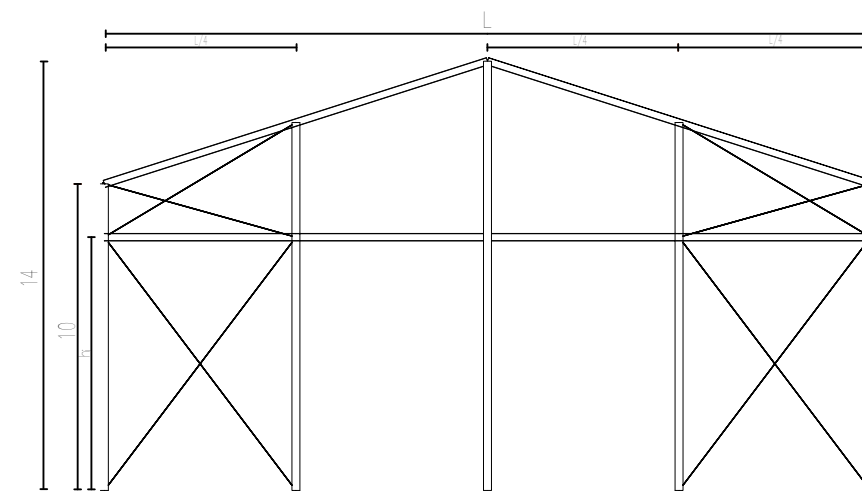



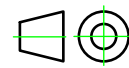


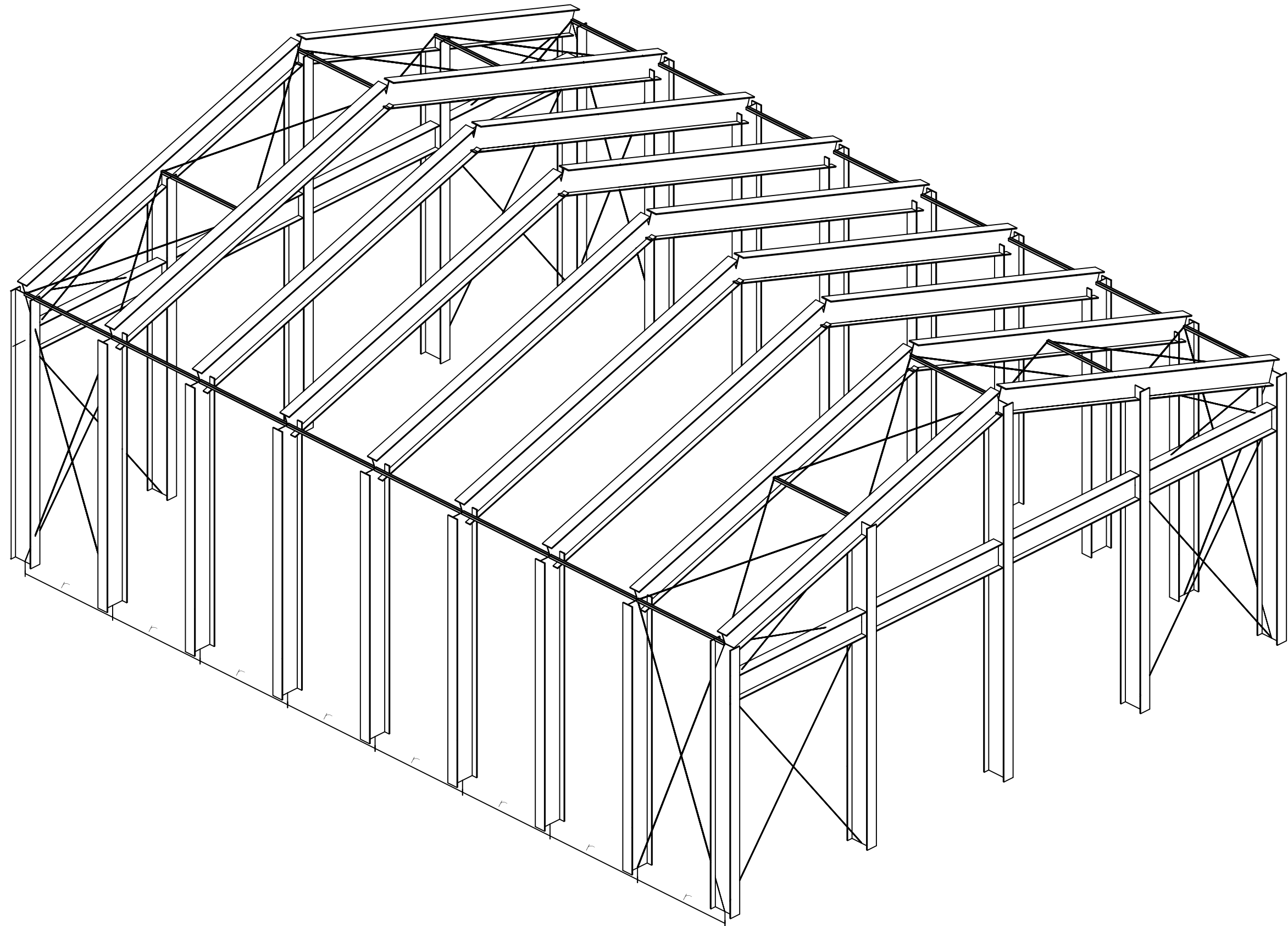
<div>   UNIVERSITAT          JAUME I       </div>	ESCALA 1:200	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	FECHA Abril 2019	TÍTULO Pórtico de fachada, interior y fachada lateral perfil HD	
	SISTEMA <div>   </div>		
AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler		PLANO Nº 8	




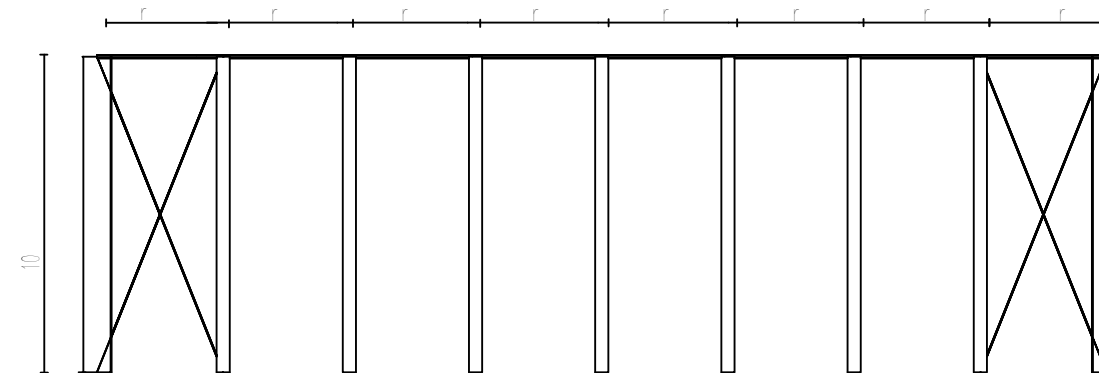
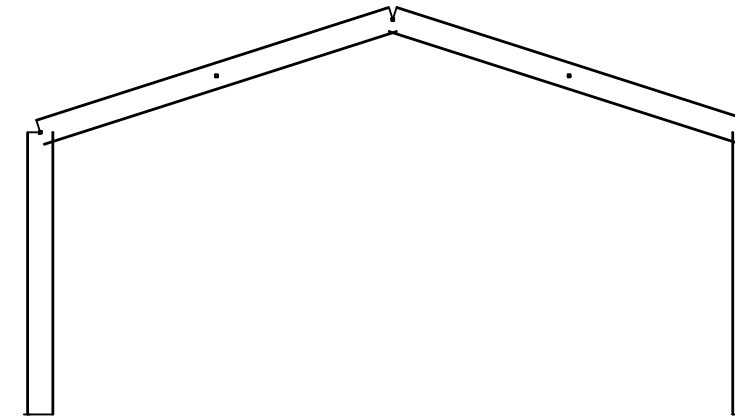
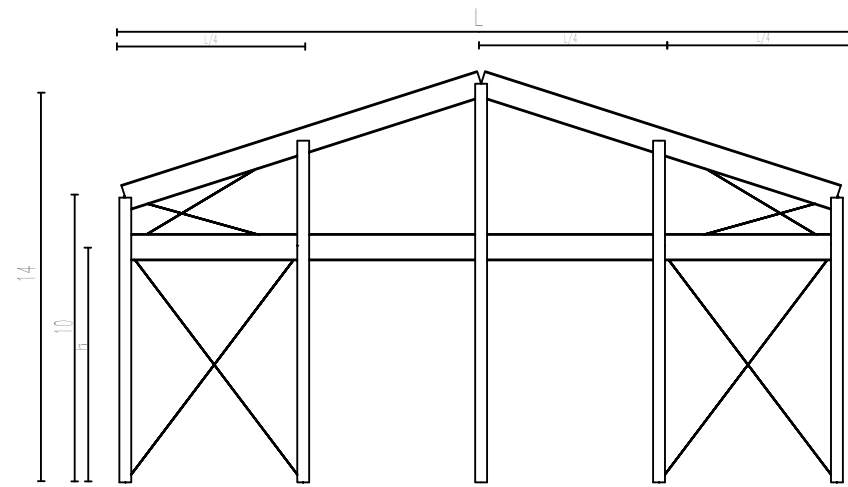
	FECHA Abril 2019	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler	TÍTULO Nave completa 3D Perfil HD	PLANO Nº 9
SISTEMA 			


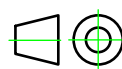


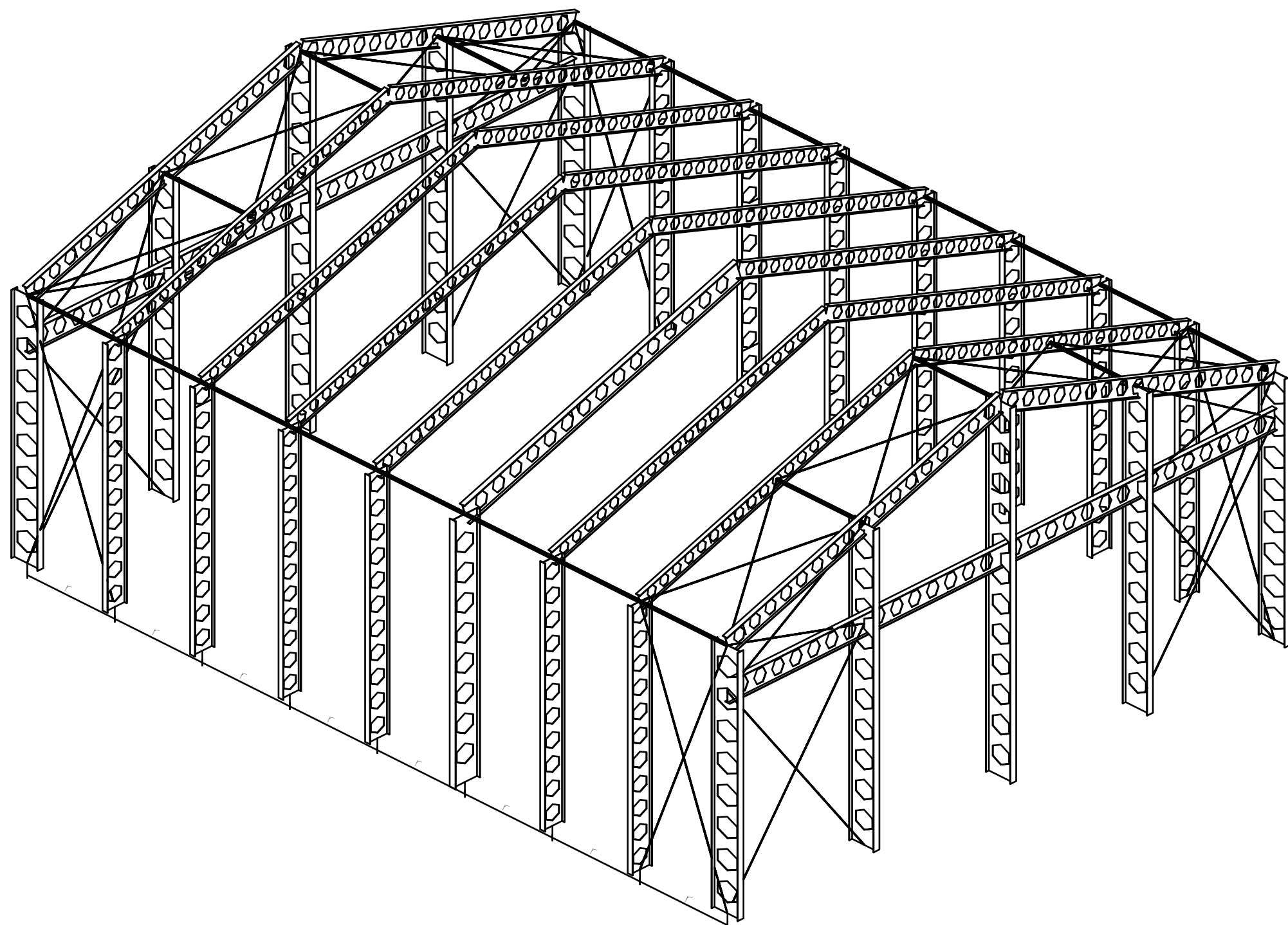
	ESCALA 1:200	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	FECHA Abril 2019	TÍTULO Pórtico de fachada, interior y fachada lateral perfil HP	
	SISTEMA AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler		
		PLANO Nº 10	



	FECHA Abril 2019	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler	TÍTULO Nave completa 3D Perfil HL	PLANO N° 11

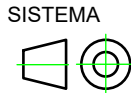


	ESCALA 1:200	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	FECHA Abril 2019	TÍTULO Pórtico de fachada, interior y fachada lateral perfil HL	
	SISTEMA 		
AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler		PLANO Nº 12	



FECHA  
Abril 2019

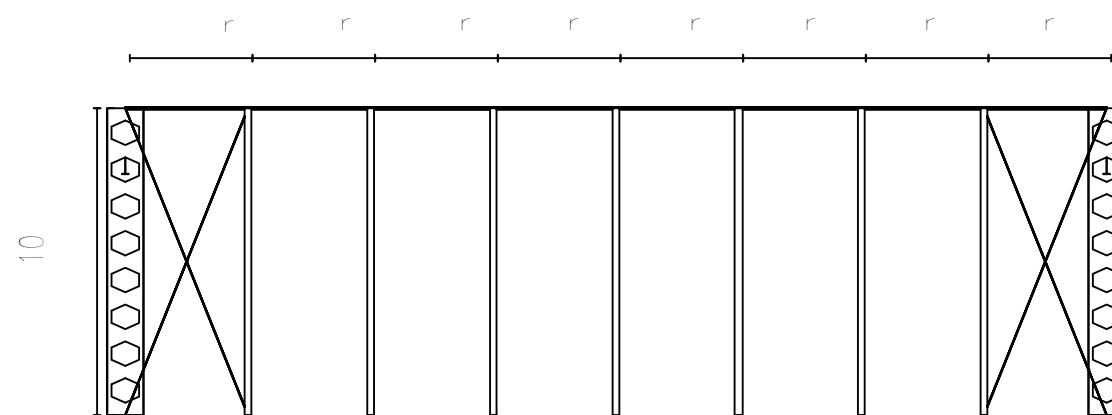
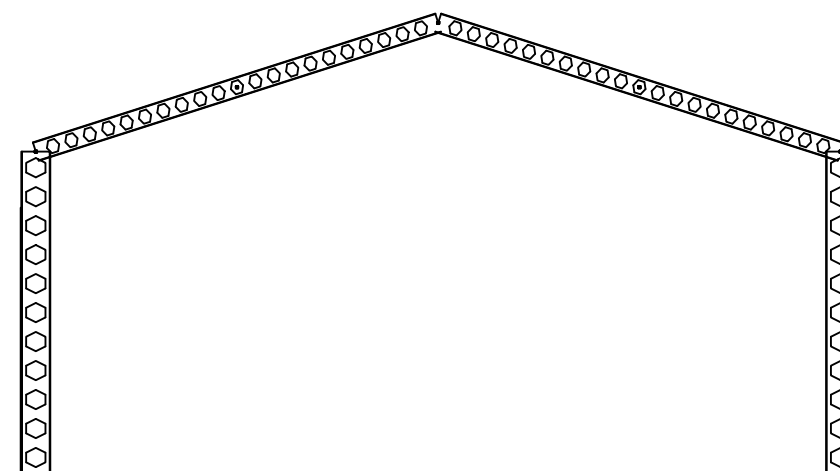
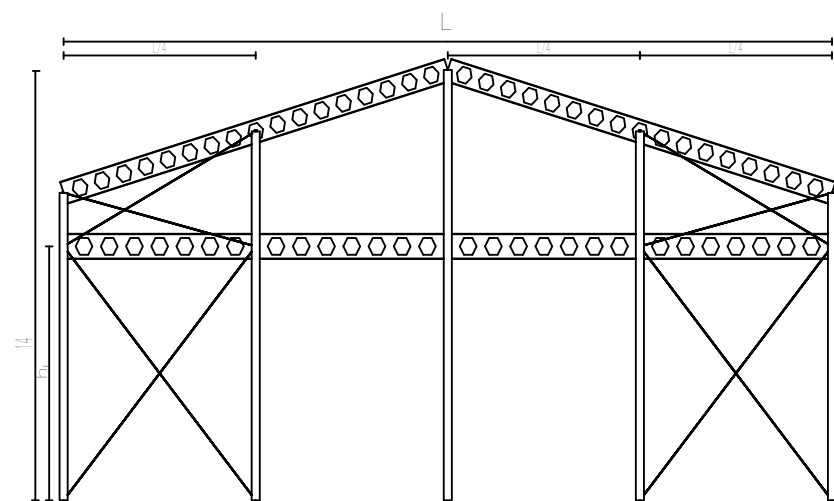
PROYECTO  
Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos


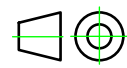


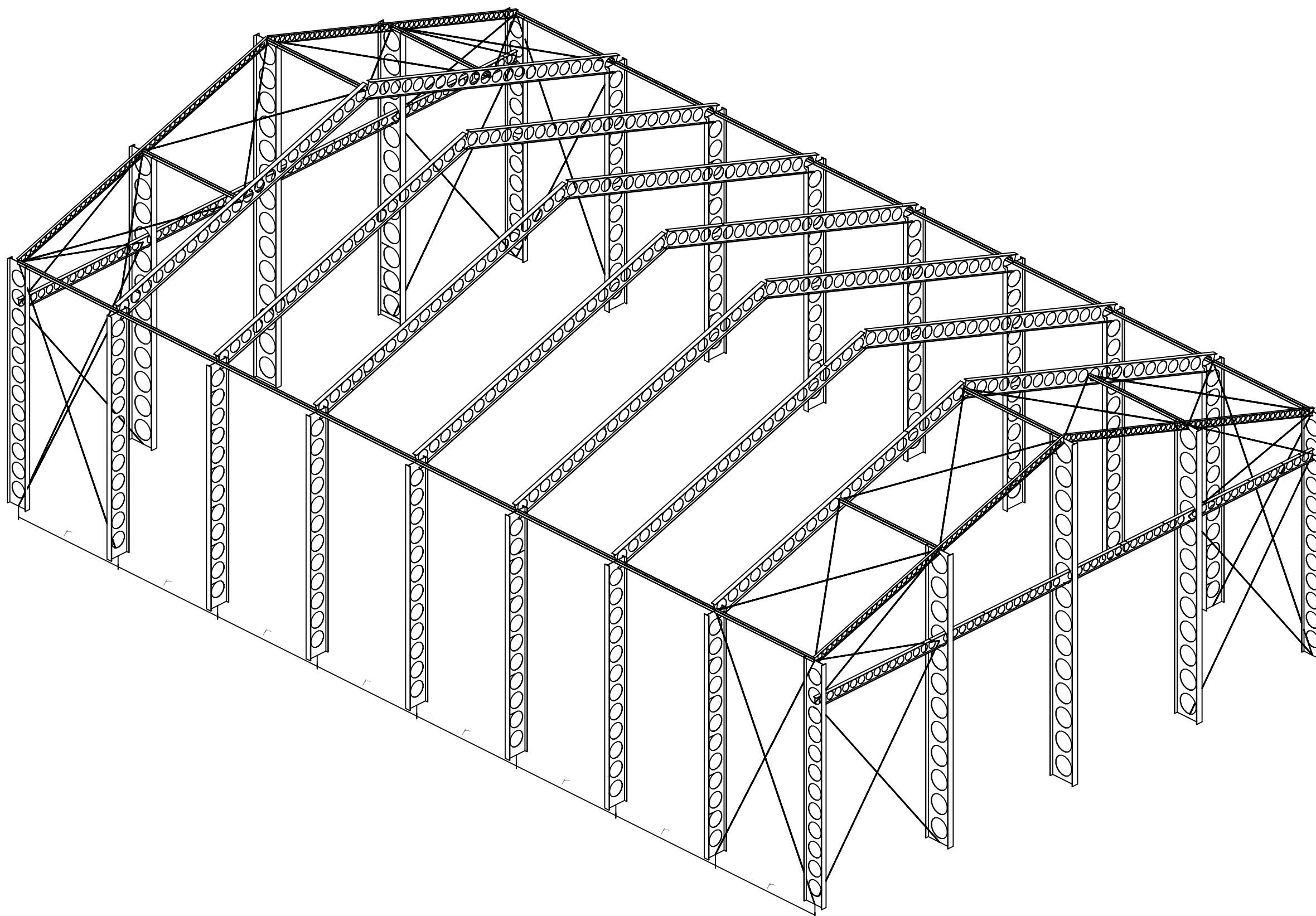
AUTOR  
Marcelo Palacios  
Siegenthaler


TÍTULO  
Nave completa 3D Viga alveolada tipo Boyd

PLANO Nº  
13

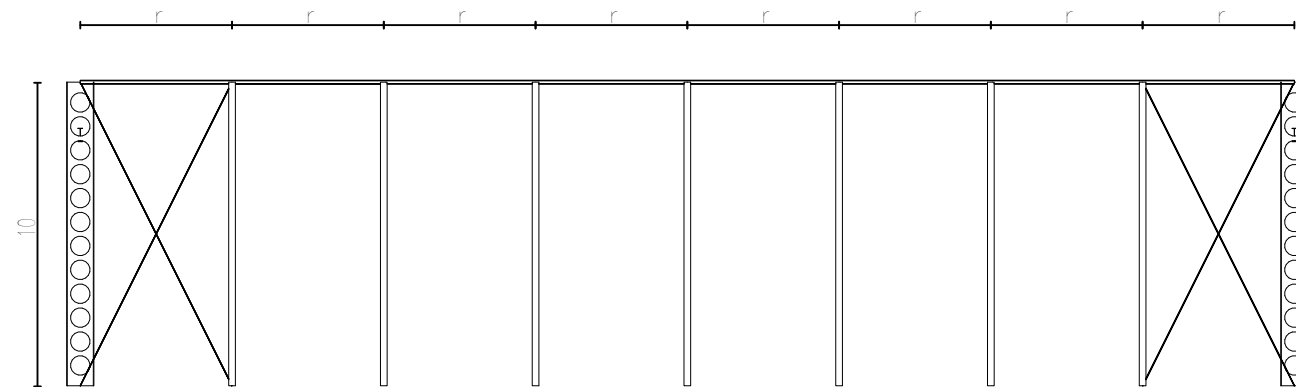
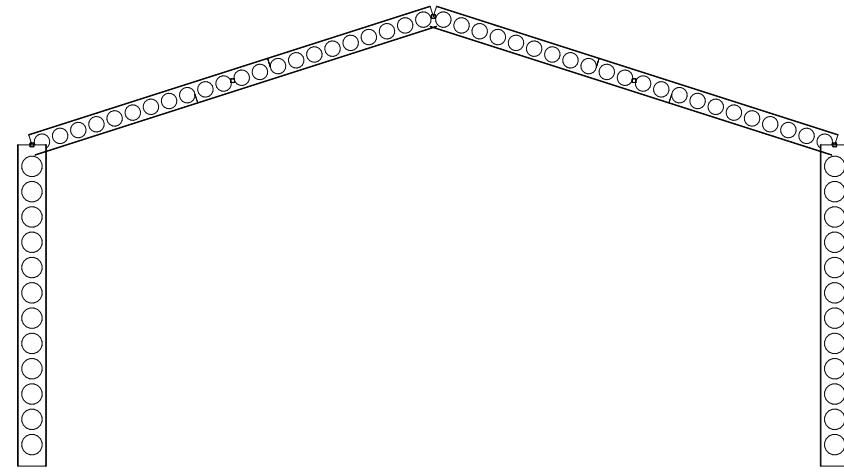
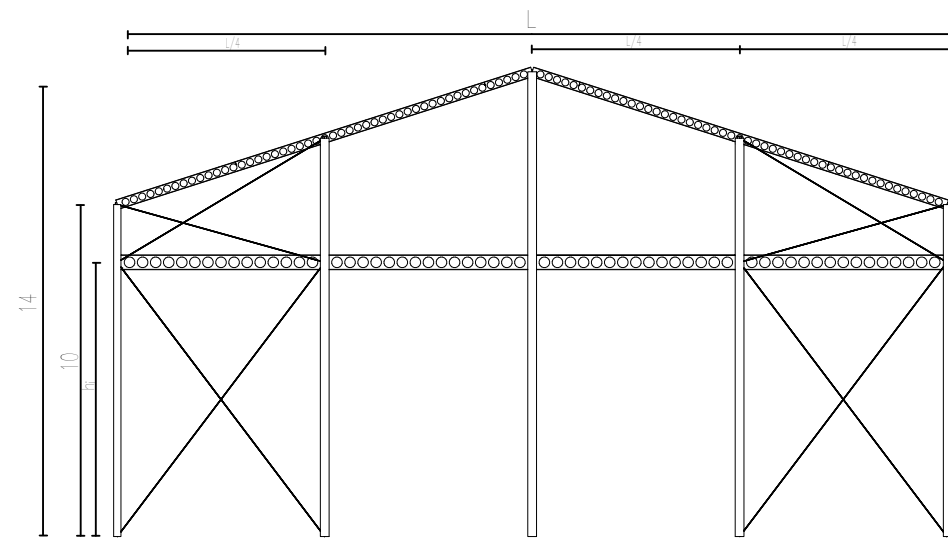



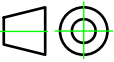
 UNIVERSITAT JAUME I	ESCALA 1:200	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	FECHA Abril 2019	TÍTULO Pórtico de fachada, interior y fachada lateral viga alveolada tipo Boyd	PLANO Nº 14
SISTEMA 	AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler		

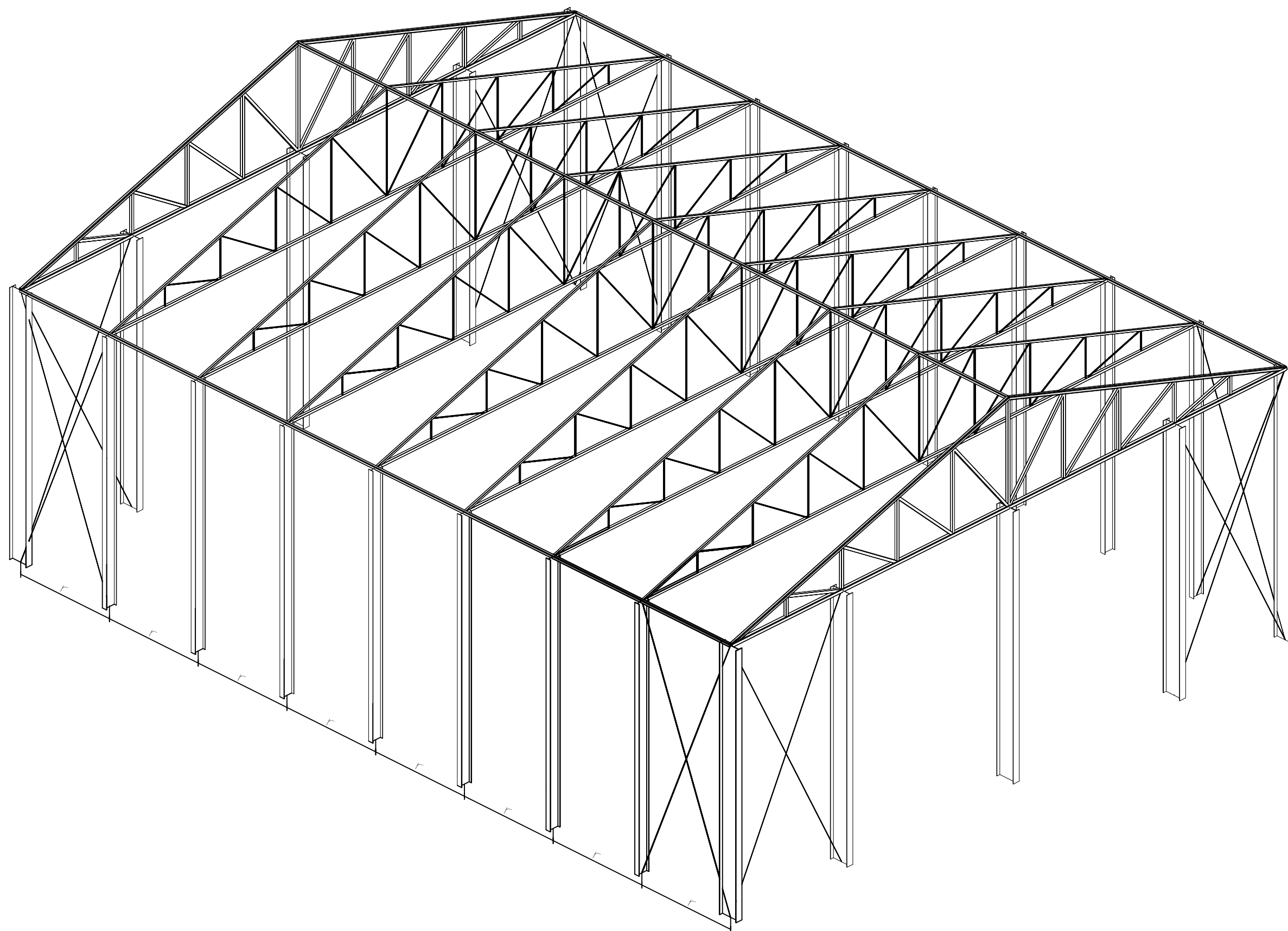



	FECHA Abril 2019	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler	TÍTULO Nave completa 3D Viga alveolada tipo Angelina	PLANO N° 15

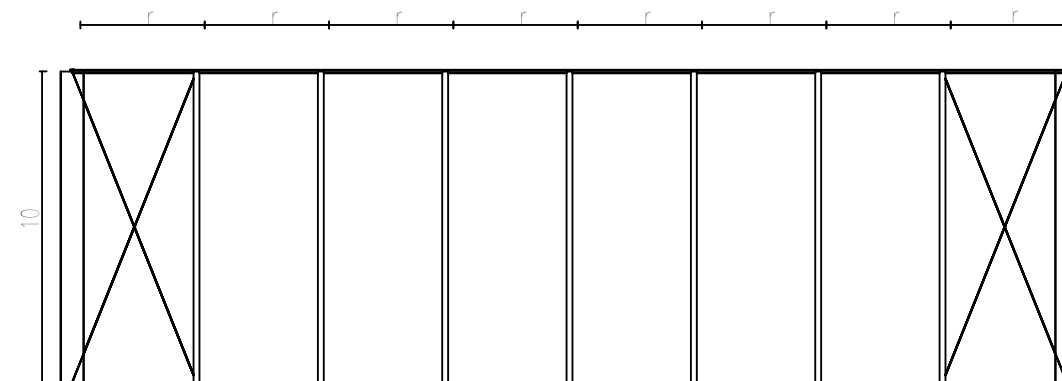
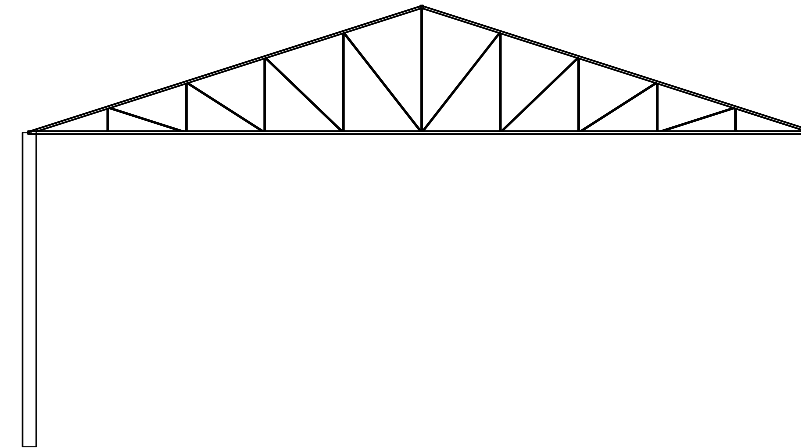
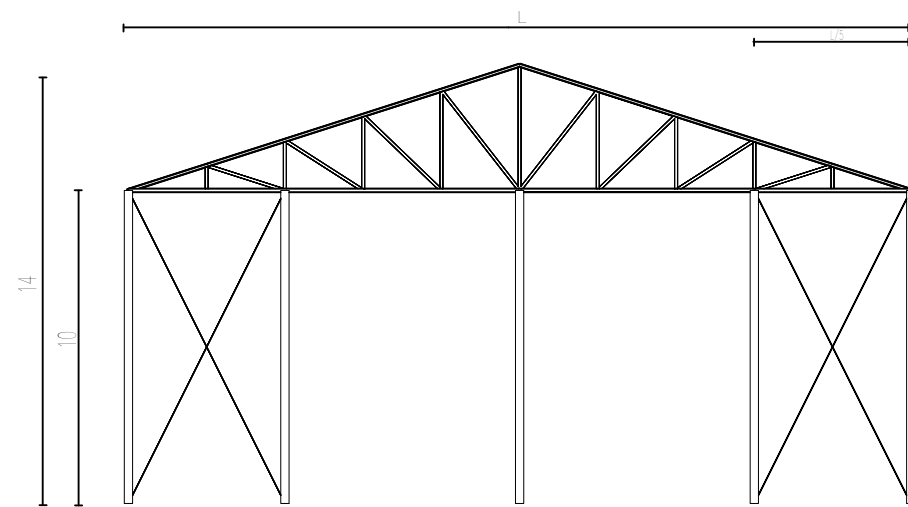



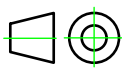


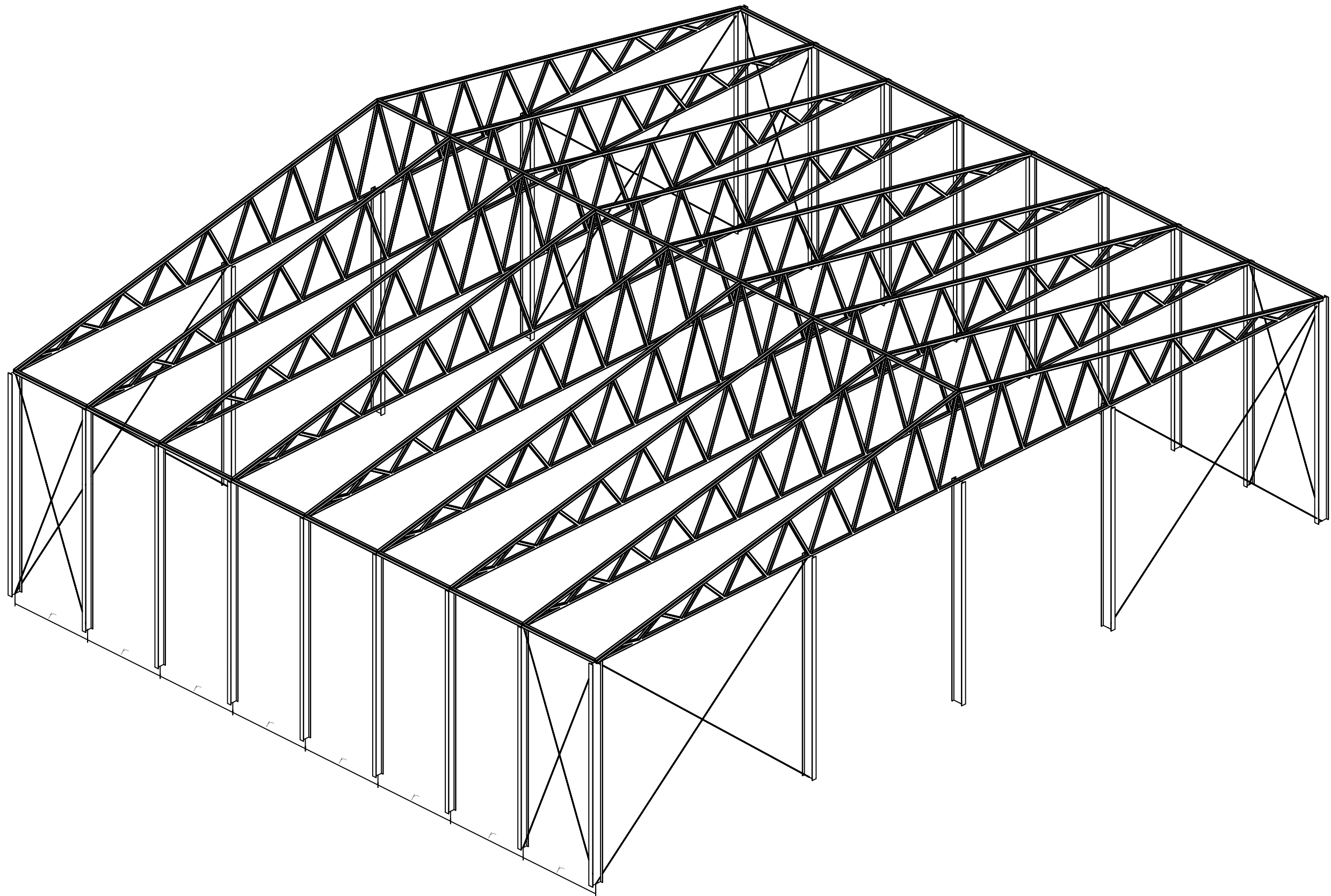
	<b>ESCALA</b> 1:200	<b>PROYECTO</b> Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	<b>FECHA</b> Abril 2019	<b>TÍTULO</b> Pórtico de fachada, interior y fachada lateral viga alveolada tipo Angelina	
<b>SISTEMA</b> 	<b>AUTOR</b> Marcelo Palacios Siegenthaler	<b>PLANO Nº</b> 16	


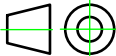


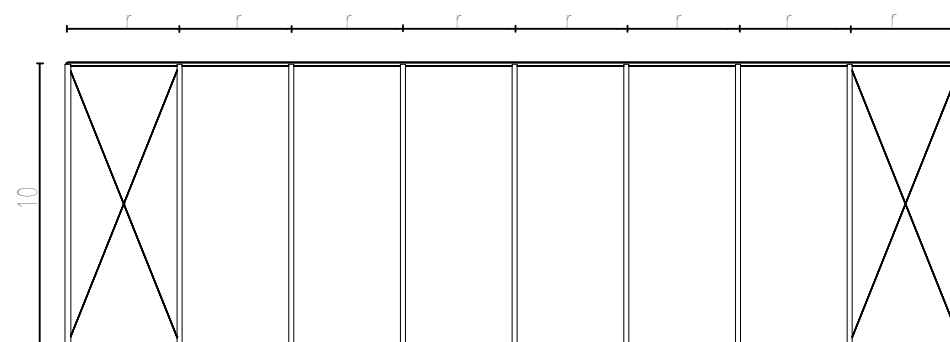
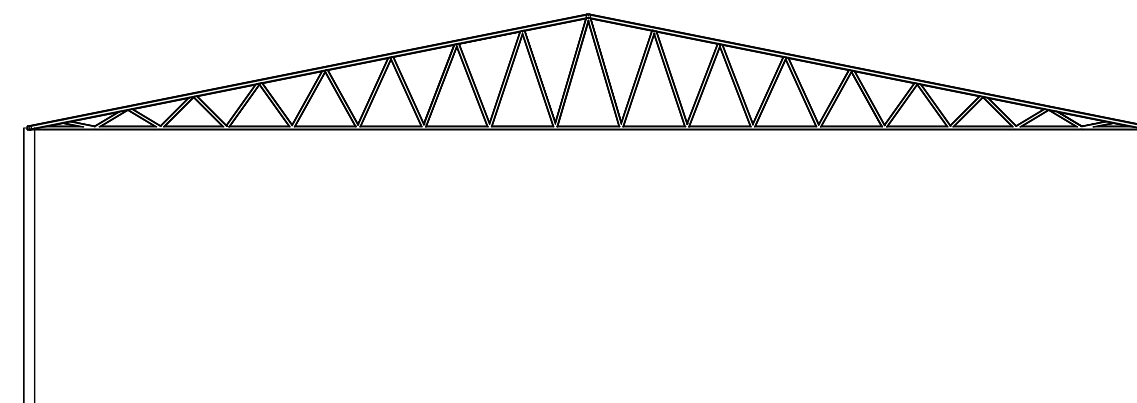
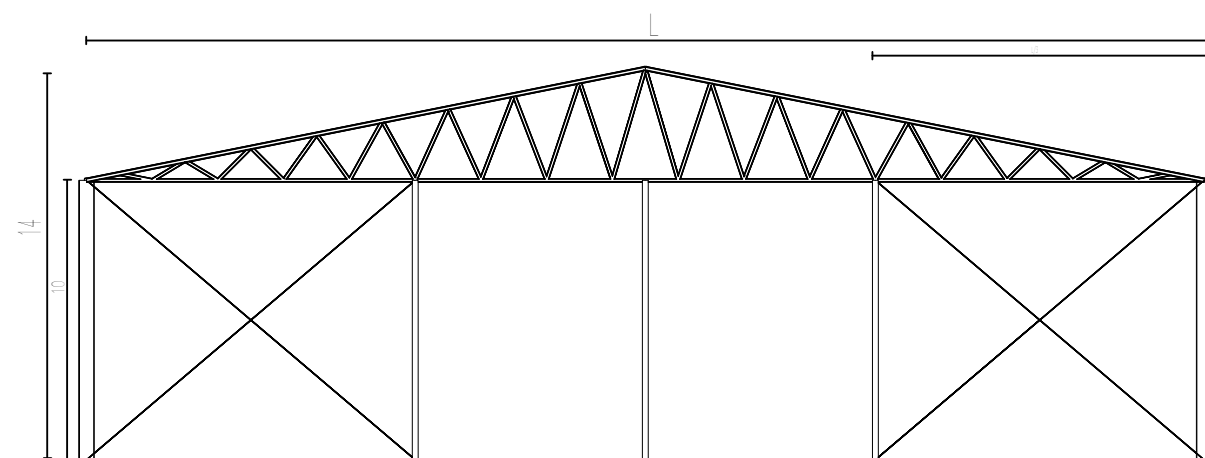
	FECHA Abril 2019	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler	TÍTULO Nave completa 3D celosía Pratt	PLANO Nº 17


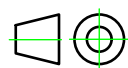


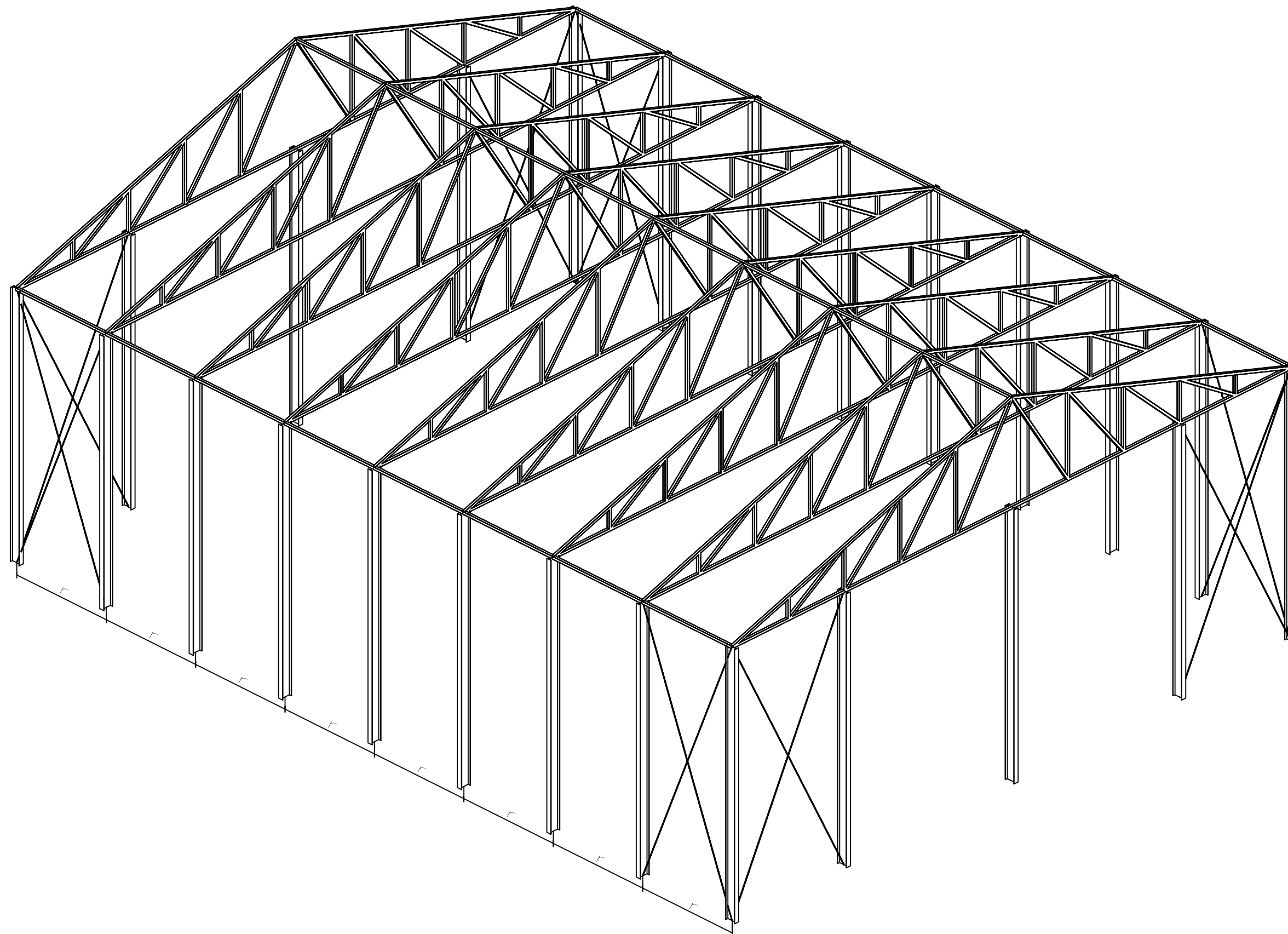
	ESCALA 1:200	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	FECHA Abril 2019		
	SISTEMA 	TÍTULO Pórtico de fachada, interior y fachada lateral celosía tipo Pratt	PLANO Nº 18
	AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler		




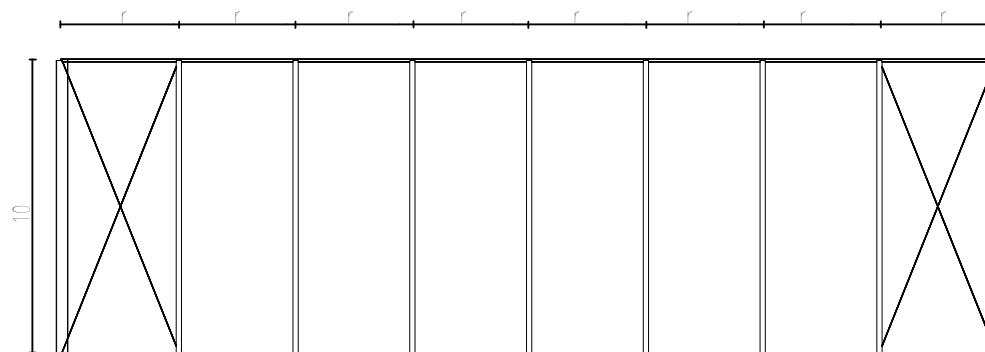
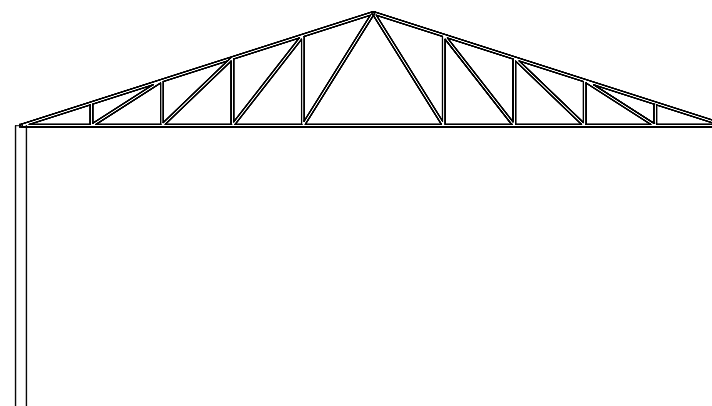
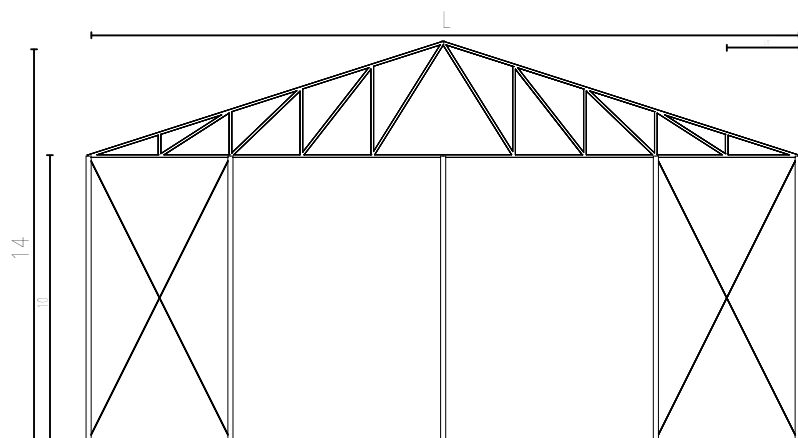
 SISTEMA 	FECHA Abril 2019	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler	TÍTULO Nave completa 3D celosía Warren	PLANO Nº 19


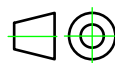


	<b>ESCALA</b> 1:200	<b>PROYECTO</b> Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	<b>FECHA</b> Abril 2019	<b>TÍTULO</b> Pórtico de fachada, interior y fachada lateral celosía tipo Warren	
<b>SISTEMA</b> 	<b>AUTOR</b> Marcelo Palacios Siegenthaler		<b>PLANO Nº</b> 20



	FECHA Abril 2019	PROYECTO Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	AUTOR Marcelo Palacios Siegenthaler	TÍTULO Nave completa 3D celosía Warren con montantes	PLANO Nº 21



	<b>ESCALA</b> 1:200	<b>PROYECTO</b> Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos	
	<b>FECHA</b> Abril 2019	<b>TÍTULO</b> Pórtico de fachada, interior y fachada lateral celosía tipo Warren con montantes	
<b>SISTEMA</b> 	<b>AUTOR</b> Marcelo Palacios Siegenthaler	<b>PLANO Nº</b> 22	